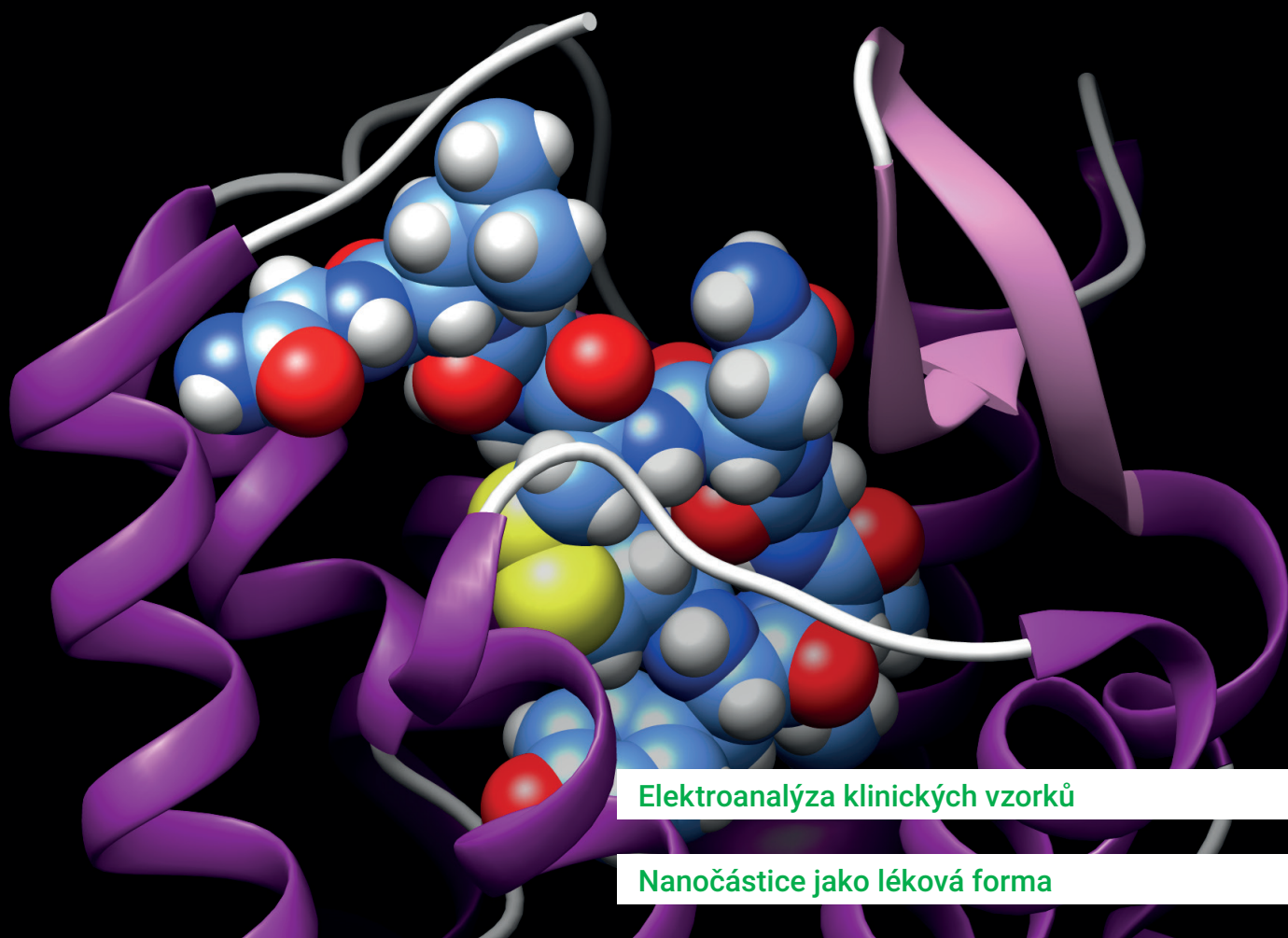


# Chemické Listy

# 10

ročník • 117



Elektroanalýza klinických vzorků

Nanočástice jako léčivá forma

Grafenové superkondenzátory

Metody fixace dusíku

Bulletin





# Průtoková instrumentace – přesně pro Vaše potřeby.

## Rychlá, přesná a konfigurovatelná.

Spolehněte se na odborné inženýrství společnosti Alicat a na krátké dodací lhůty, abyste udrželi váš proces v pohybu. Přístroje fy Alicat pro měření a regulaci hmotnostního průtoku a tlaku poskytují neuvěřitelný výkon, takže můžete dosáhnout více.

<https://www.alicat.com/>

Zavolejte si nyní pro cenovou nabídku nebo si ji vyžádejte online u společnosti SciTech sro Praha.

<http://scitech.cz/>; [scitech@scitech.cz](mailto:scitech@scitech.cz); +420 224 311 850



<b>Hmotnostní průtok</b>	<b>CODA Coriolis</b>	<b>Kapalina</b>	<b>Tlaková zařízení</b>
Rychlé, přesné měření hmotnostního průtoku založené na diferenčním tlaku. Nejruznější měření a řízení hmotnostního průtoku, objemového průtoku nebo tlaku jedním zařízením.	Nová vysoce přesná zařízení pro hmotnostní průtok necitlivá na vnější vibrace a nezávislá na složení kapaliny.	Rychlé a stabilní měření a řízení objemového průtoku a tlaku.	pro absolutní, přetlakový nebo diferenční tlak. Rychlé, opakovatelné řízení pro průtočné, uzavřené, nebo vakuové aparatury.



antikorozní



malý pokles tlaku



obousměrný



OEM



přenosný + bluetooth



IP

### Chemické listy – Listy chemické

Náš časopis se v tiráži honosí letos již ročníkem 117. Honosí se ale i tím, že je pokračovatelem časopisu *Listy chemické*, a to ročník 147.

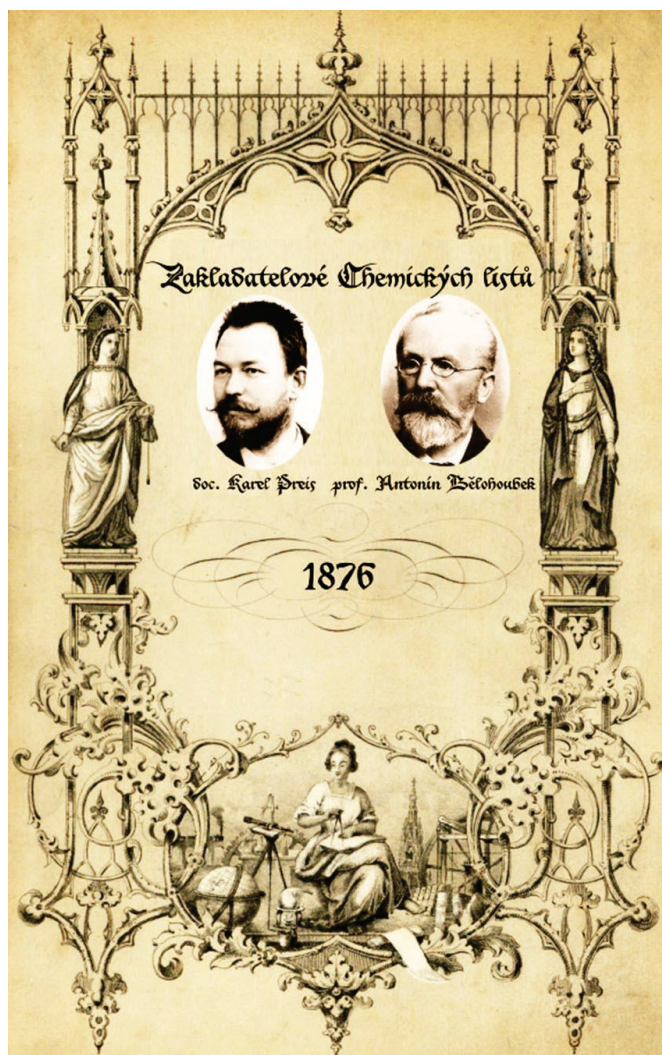
Podívejme se, jak to začalo. O nejstarších chemických časopisech u nás jsme již psali<sup>1</sup>. Od té doby se však mnohé událo i na poli historických bádání.

Tak zaprvé, *Časopis chemiků českých* nebyl prvním médiem chemické společnosti, neboť, jak píše Hanč<sup>2</sup>, „Na schůzi 20. listopadu 1869 bylo usneseno zřízení Kritických listů periodicky předkládaných členům ve dvou exemplářích, které budou recensovat 3 členové z plena volení. Recensenti mají určovat také program přednášek. Kritické listy mají vycházet každou druhou sobotu. Prvními recensenty byli zvoleni: F. Farský, Keyř a Tlamych. K opisování se nabídl p. Milbauer z ochoty a další člen za prominutí členských příspěvků“. *Kritické listy tedy, byl ve*

*dvou exemplářích, byly prvním vystopovatelným „papírovým“ médiem společnosti.*

Hanč dále píše: „24. června 1875 usnesl se výbor spolku vydávat vedle Zpráv spolku chemiků českých, redigovaných V. Šafaříkem a vycházejících ve čtvrtletních termínech o rozsahu 3 archů, ještě nový časopis *Listy chemické*. Zatímco Zprávy by nadále měly mít směr čistě vědecký, nový časopis by přinášel netoliko práce původní z oboru technické chemie, nýbrž i stručné a pravidelné výtahy z cizojazyčných odborných, především chemických časopisů. 1. října 1876 vychází 1. číslo *Listů chemických* a původně jednoarchové měsíčně vydávané sešity brzy přecházejí pro značný zájem a množství materiálu redakčního na dvouarchový rozsah. Časopis rediguje Karel Preis“.

Z dalšího zápisu z 9. výborové schůze ze dne 14. července 1876 čteme: „Titul nového orgánu má znít: »Chemické listy«. Orgán spolku chemiků českých, věnovaný zájmům technologie chemické. Cena jednoho ročníku



ustanovena a jest pro členy 2 zl., s poštovní zásilkou 2,50. Pro nečleny pak 4 zl., s poštovní zásilkou 4,50. K sešitu každému přiložena bude příloha insertní. První číslo časopisu vyjde dne 1. října 1876. 10 čísel vyjde ročně, tedy každý měsíc, kromě srpna a září. Pro nedostatek členů výboru usnešeno na tom, že první sešit vyjde redakcí p. prof. Bělohoubka a pana doc. Preise. Tisknouti časopis se má u Pichla a náklad prvního sešitu má obnášeti 300 exemplářů.

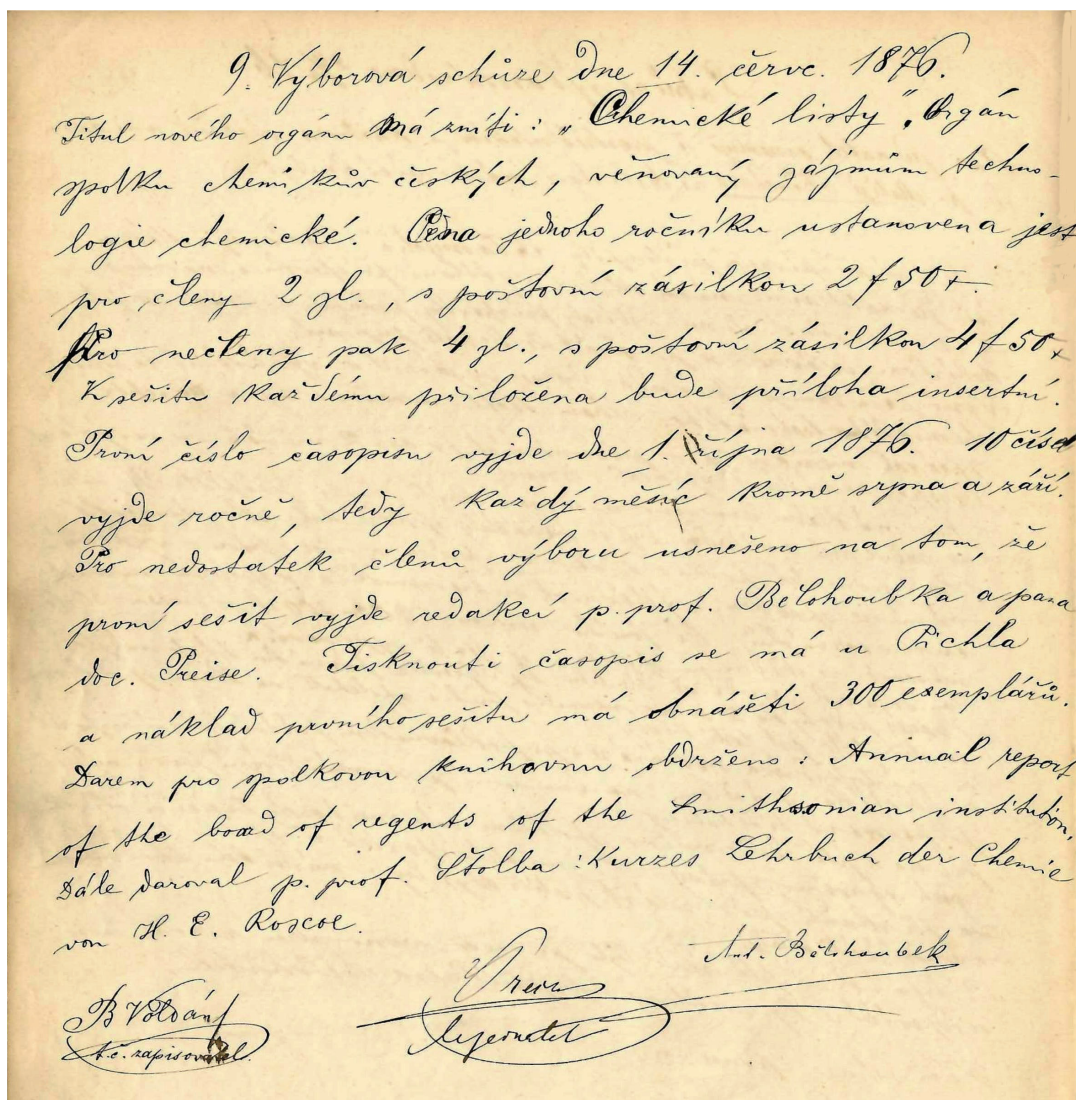
Proč a na čí popud nakonec vyšly o pár týdnů později po 9. výborové schůzi »Listy chemické« s názvem obráceným, o tom se našim historikům zatím nepodařilo mnoho zjistit.

V této souvislosti je možno uvést, že Karel Preis v roce 1883 založil Listy cukrovarnické, které spolu s Listy chemickými (a Listy filologickými) jsou nejstaršími českými publikovanými časopisy u nás, které abstrahuje databáze Web of Science.

Pavel Drašar

#### LITERATURA

1. Drašar P.: Chem. Listy 116, 629 (2022).
2. Hanč O.: 100 let v Československé společnosti chemické, její dějiny a vývoj 1866–1966. Academia, nakladatelství ČSAV, Praha 1966.



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.

## ELEKTROCHEMICKÁ ANALÝZA KLINICKÝCH VZORKŮ – CESTA K TRANSLAČNÍMU VÝZKUMU

*Nové pohledy na analytickou chemii\**

LUDMILA MORÁŇOVÁ<sup>a</sup>, MARTIN BARTOŠÍK<sup>a</sup>, JOHANA STRMISKOVÁ<sup>a</sup> a KATEŘINA NOVÁKOVÁ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Výzkumné centrum aplikované molekulární onkologie (RECAMO), Masarykův onkologický ústav, Žlutý kopec 7, 656 53 Brno, <sup>b</sup> Banka biologického materiálu (BBM), Masarykův onkologický ústav, Žlutý kopec 7, 656 53 Brno  
ludmila.moranova@mou.cz

Došlo 23.6.23, přijato 7.8.23.

Elektrochemická detekce biomolekul se neustále posouvá a má velký potenciál využití v klinické praxi. V posledních letech je kladen důraz na přesné a rychlé stanovení biomarkerů na bázi nukleových kyselin – DNA a RNA. Značná část výzkumných projektů však nereflektuje požadavky na demonstraci vyvinutých metod na klinickém materiálu, což jejich aplikační potenciál značně snižuje. Klinický materiál vnáší do výzkumu oproti modelovým vzorkům větší variabilitu a práce s ním vyžaduje specifické podmínky. Problém získávání klinického materiálu pro výzkumné účely z velké části řeší banky biologického materiálu, které mohou nabídnout vzorky a data vhodné pro konkrétní výzkumný záměr.

Klíčová slova: biosenzor, izotermální amplifikační techniky, elektrochemie, biomarker, biobanka

### Obsah

1. Úvod
2. Elektrochemická detekce nádorových biomarkerů na úrovni nukleových kyselin
  - 2.1. DNA nádorové biomarkery
  - 2.2. RNA nádorové biomarkery
3. Výzvy klinického materiálu
4. Síť českých biobank – BBMRI.cz
5. Závěr

### 1. Úvod

Včasná a přesná diagnostika zhoubných nádorových onemocnění má v současné medicíně velký vliv na úspěšnost jejich terapie, neboť zde platí, že čím dříve je nemoc odhalena, tím lépe je léčitelná. K tomuto účelu slouží nádorové biomarkery, které mohou pomoci odhalit škodlivé změny v těle dříve, než se objeví první symptomy<sup>1</sup>.

Nádorové onemocnění je charakteristické nekontrolovaným dělením buněk, čemuž předchází změny na úrovni nukleových kyselin a následně proteinové skladby buněk.



*Ludmila Moráňová pracuje jako výzkumná pracovnice ve Výzkumném centru aplikované molekulární onkologie pod Masarykovým onkologickým ústavem. Titul Ph.D. získala v roce 2022 na Masarykově univerzitě a její závěrečná práce byla oceněna cenou děkana za excelentní výsledky v doktorském studijním programu a rovněž cenou prorektorky pro výzkum a doktorské studium. V době svého studia absolvovala zahraniční stáž na Universidad Complutense de Madrid ve Španělsku pod vedením profesorky Susany Campuzano. Aktuálně je spoluautorkou 14 publikací, h-index 7. V současné době se věnuje vlastnímu výzkumnému projektu zaměřenému na vývoj bioelektrochemických metod pro detekci lidského cytomegaloviru u onkologických pacientů. V roce 2023 získala Cenu Metrohm za nejlepší publikaci mladého chemika v oblasti elektroanalytické chemie.*

Diagnostika nádorových biomarkerů má svá specifika, neboť potřebuje odhalit změny z počátku velmi malého množství buněk. Obecně lze říci, že jsou zde kladeny vyšší nároky na celkovou citlivost metod. Ideální nádorový biomarker musí být jednak vysoce tkáňově specifický, a zároveň schopný rozlišit benigní (nezhoubné) a maligní (zhoubné) onemocnění. Může se jednat o celou škálu molekul od různých typů nukleových kyselin, přes proteiny, lipidy až po nejružnější metabolity, či signální molekuly. Jejich detekce, často pouze na úrovni změn jejich hladin, může pomoci zachytit již raná stádia nádorových onemocnění, která je potřeba identifikovat co nejméně invazivním způsobem (diagnostický biomarker), nebo charakterizovat případnou odpověď na léčbu (prediktivní biomarker), či chování a vývoj nádoru v průběhu léčby (prognostický biomarker)<sup>1,2</sup>.

V současné době jsou nepoužívanější metody detekce biomarkerů na bázi nukleových kyselin založené na polymerasové řetězové reakci (polymerase chain reaction, PCR), hybridizaci specifických sekvencí (fluorescence *in situ* hybridization, FISH), nebo sekvenování nové generace (next generation sequencing, NGS). Tyto rutinní techniky, využívající především optické metody, jsou založené na pozorování změny barvy (kolorimetrie), fluorescence (fluorimetrie), luminiscence (luminometrie), a dalších optických vlastností. Obecně je detekce biomarkerů na


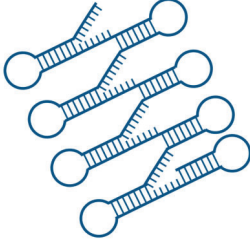

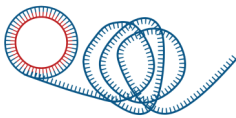
úrovni nukleových kyselin, tj. DNA nebo RNA, časově i finančně náročná a často vyžaduje přesnost stanovení jednoho mutovaného nukleotidu nebo detekci několika málo kopií DNA molekul<sup>3–6</sup>. Z těchto důvodů je patrný výrazný trend ve vývoji biosenzorů, které ve spojení s citlivou elektrochemickou detekcí skýtají řadu výhod, např. vyšší rychlost, nižší finanční a instrumentální náročnost, nebo možnost paralelní detekce více vzorků či biomarkerů najednou. Navíc v kombinaci s inovativními strategiemi, jako jsou izotermální amplifikační techniky (IAT), značené nukleotidy, protilátky, nanomateriály, a specifické hybridizační sondy, je možné dosáhnout ultra-vysoké citlivosti a selektivity<sup>7</sup>.

IAT představují časově efektivnější alternativu klasické PCR, protože celá reakce probíhá při konstantní teplotě. Termocykler potřebný pro PCR tak může být nahrazen termoblokem, nebo v případě čipových technologií odporovým článkem. Za poslední tři dekády bylo vyvinuto několik IAT, z nichž mezi nejčastěji používanými patří tzv. LAMP (loop-mediated isothermal amplification), RPA (recombinase polymerase amplification) a RCA (rolling-circle amplification)<sup>8,9</sup> (porovnání jednotlivých parametrů metod viz tab. I).

LAMP je nejrozšířenější IAT, která vyžaduje 4–6 specifických primerů, a u které dochází ke tvorbě smyček (loop), specifických struktur ve tvaru činky (dumbbell)

Tabulka I

Srovnání podmínek amplifikačních technik – čas reakce, typ amplifikační reakce, počet nutných primerů a schematické zobrazení výsledných produktů reakcí

Reakce	Trvání [min]	Typ	Teplota [°C]	Počet primerů	Produkt
PCR <sup>a</sup>	60–150	cyklická exponenciální	60–95	2	
LAMP <sup>b</sup>	15–60	izotermální exponenciální	60–65	4–6	
RPA <sup>c</sup>	20–40	izotermální exponenciální	37–40	2	
RCA <sup>d</sup>	20–30	izotermální lineární	37–40	1–2	

<sup>a</sup> PCR – polymerase chain reaction, <sup>b</sup> LAMP – loop-mediated isothermal amplification, <sup>c</sup> RPA – recombinase polymerase amplification, <sup>d</sup> RCA – rolling-circle amplification

a amplikonů o různých délkách v průběhu jedné reakce. Při detekci LAMP amplikonů na agarosovém gelu se místo klasického jednoho proužku objevuje žebříček složený z různě dlouhých LAMP produktů. Doba reakce se pohybuje mezi 15–75 minutami, v závislosti na zastoupení analytu a koncentraci vzorku, při teplotě okolo 65 °C (cit.<sup>8,10,11</sup>). Velmi často se metoda využívá pro detekci DNA patogenních agens (bakterií a virů)<sup>10,12–14</sup>. Současně existují také její alternativy, jako qLAMP (kvantitativní/měření v reálném čase) nebo RT-LAMP pro analýzu RNA (reverzní transkripce RNA probíhá jednoduše ve stejné reakci)<sup>11</sup>. LAMP reakce je oproti PCR méně citlivá k různým inhibitorům běžně přítomným v biologických vzorcích. Nevýhodou této metody je složitější návrh primerů a větší citlivost vůči kontaminacím<sup>8,13</sup>.

RPA reakce vyžaduje jednodušší design primerů, podobných těm pro PCR a stejně tak produkty reakce jsou na gelu vizualizované jako jeden proužek o specifické velikosti. Podstata reakce spočívá v přítomnosti více enzymů, které nahrazují procesy, ke kterým dochází díky cyklickému střídání teplot u klasické PCR. Jedná se konkrétně o rekombinasi, která zajišťuje specifické nasednutí primeru, dále tzv. „single-stranded DNA-binding protein“, tedy protein ukotvující vazbu primeru k DNA templátu, a polymerasu. Reakce obvykle probíhá při 37–42 °C a díky absenci cyklování teplot je celý proces rychlejší, cca 20–30 min (cit.<sup>15</sup>). Nevýhodou této technologie je její vyšší cena způsobená jediným výrobcem vlastním patent (TwistDx).

Poslední zmiňovanou technikou je RCA reakce, která vytváří produkty s desítkami až stovkami tandemových repetice amplifikovaného templátu. Základem je speciálně navržená „padlock“ sonda, jejíž oba konce jsou komplementární k cílové sekvenci DNA nebo RNA a navíc je na svém 5'-konci značena fosfátovou skupinou. Během vazby na cílovou sekvenci dochází k cirkularizaci „padlock“ sondy, oba konce se dostávají do těsné blízkosti, a jsou následně v procesu ligace kovalentně spojeny. Vzniká kruhová DNA, která pak slouží jako templát pro samotnou RCA reakci, a to v přítomnosti primeru a speciální polymerasy. Kromě této klasické varianty existují citlivější varianty RCA typu „hyperbranched RCA“ (využívající alespoň dva různé primery, čímž vzniká rozvětvený RCA produkt), nebo „circle-to-circle RCA“ (C2C RCA, u které probíhá restriční štěpení RCA produktu a vznik dalších kruhových DNA)<sup>16</sup>. Nevýhodou této reakce je víceokrový postup a nutnost relativně drahých fosforylovaných „padlock“ sond.

Spojení IAT s elektrochemickou detekcí představuje zajímavou alternativu k optickému stanovení, zvláště s ohledem na nižší cenu přístrojového vybavení a větší toleranci vůči nejrůznějším kontaminantům.

## 2. Elektrochemická detekce nádorových biomarkerů na úrovni nukleových kyselin

### 2.1. DNA nádorové biomarkery

Konkrétní nádorová onemocnění mohou být u pacientů spojena s výskytem specifických sekvencí DNA, nebo také s nestandardním množstvím pro buňku jinak přirozených sekvencí DNA, ať už na úrovni počtu kopií některých genů, nebo na úrovni jejich exprese, což se projevuje změnou množství mRNA syntetizované při procesu transkripce. Značná část biomarkerů nádorových onemocnění má charakter nukleových kyselin, tj. DNA či RNA. Tento typ makromolekulárních biomarkerů může být přítomen přímo v nádorových buňkách, ale také mimo ně, jako volně cirkulující DNA (ctDNA) v krevním řečišti, či v tělních sekretech<sup>17</sup>.

Nejčastěji zmiňovanou skupinou DNA a RNA nádorových biomarkerů jsou sekvence patřící onkogenům vzniklým aktivující mutací pro buňku přirozených proto-onkogenů či výsledkům inaktivujících mutací nádorových supresorů. Proteinové produkty těchto mutovaných genů zpravidla narušují regulovaný průběh buněčného cyklu a dělení, což vede k nekontrolovatelné proliferaci, která je jednou z hlavních charakteristik nádorových buněk. Vznik onkogenů či ztráta funkce nádorového supresoru mohou být způsobeny tzv. bodovou mutací čili nahrazením jednoho nukleotidu jiným v sekvenci DNA tak, že dojde ke změně významu daného kodonu při zachování čtecího rámce, jako je tomu například u mutovaných forem genů *BRAF* a *KRAS* asociovaných s některými typy nádorů. V genu *BRAF* je aktuálně nejvíce klinicky významná mutace V600E, způsobující na proteinové úrovni aminokyselinovou záměnu valinu za kyselinu glutamovou. Tato mutace se objevuje u více než 85 % případů maligního melanomu a více než 8 % případů kolorektálního karcinomu a má významný vliv na výběr terapeutického přístupu<sup>18,19</sup>. Jeden z projektů naší výzkumné skupiny je zaměřen na vývoj rychlé a snadno proveditelné metody detekce bodových mutací těchto genů<sup>20</sup>.

Zejména u inaktivačních mutací může v daných genech docházet také k delecím, či insercím, většinou vedoucím ke změně čtecího rámce nebo předčasnému vytvoření stop kodonu. V některých případech jsou onkogeny vytvářeny fúzí při chromozomových přestavbách. Nejvýznamnějším fúzním genem pro nádorová onemocnění je *BCR-ABL1*, který je vytvořený translokací chromozomů 9 a 22. Znakem nádorového onemocnění mohou být také standardní sekvence DNA či RNA, které jsou přítomny ve zvýšeném nebo sníženém množství, jako je například zmnožení chromozomů v nádorových buňkách při akutní lymfoblastické leukemii<sup>21</sup>. Na expresní aktivitu genů má vliv také metylace DNA zabraňující transkripci postižených částí řetězce, aniž by došlo ke změnám v samotné sekvenci DNA (cit.<sup>22</sup>). Tento typ epigenetické modifikace DNA může rovněž posloužit jako nádorový biomarker<sup>23</sup>.

U jistých typů nádorových onemocnění byl prokázán vliv patogenních agens na jejich rozvoj. Typickým příkla-

dem jsou onkogenní kmeny lidského papilomaviru (HPV) v rozvoji rakoviny děložního čípku nebo nádorů hlavy a krku, onkomodulační schopnosti lidského cytomegaloviru (hCMV), či Kaposiho sarkomu a B-lymfomu u pacientů infikovaných HIV. V rámci této kategorie nádorových biomarkerů se naše výzkumná skupina zabývá vývojem metod pro detekci DNA biomarkerů onkogenních kmenů HPV, zejména typů 16 a 18, které jsou v nádorových buňkách karcinomu děložního čípku přítomny nejčastěji. Nově se také věnuje vývoji elektrochemických metod pro diagnostiku hCMV v tumorech<sup>24</sup>.

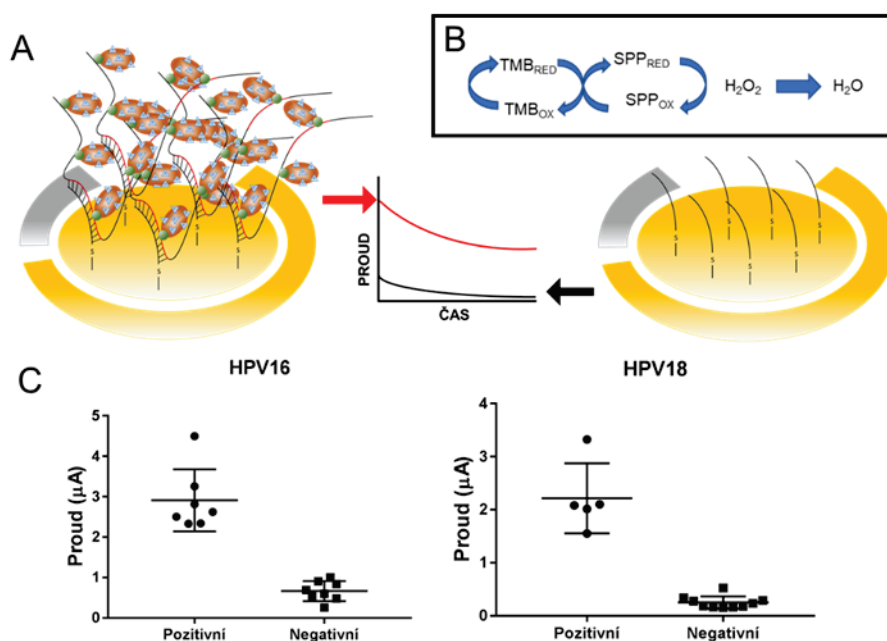
U HPV dochází k rozvoji nádorů po několika měsících až letech po infekci, kdy je virus po celou dobu detegovatelný a vyšetření těchto virů má tedy velký preventivní potenciál. Cílem našeho výzkumu je přitom zvýšit informativní hodnotu diagnostiky z úrovně zjištění přítomnosti virové DNA v klinických vzorcích<sup>10,12,13,25</sup> na úroveň kvantifikace a stanovení transkripční aktivity viru, což by mohlo přispět k lepšímu odhadu reálného rizika rozvoje karcinomu (viz níže část 2.2.).

V roce 2016 byl publikován náš první článek zabývající se detekcí HPV, a to vysoce rizikových kmenů 16 a 18, za použití elektrochemického měření na tištěné uhlíkové elektrodě<sup>25</sup>. Zde popisovaná detekční metoda využívala amplifikaci cílové sekvence pomocí PCR a následnou hybridizaci amplikonů na oligonukleotidové sondy přichycené k magnetickým kuličkám. Na druhý konec amplikonů byla navázána detekční oligonukleotidová sonda ne-

soucí molekulu digoxigeninu (DIG), jehož prostřednictvím se na vzorky mohl navázat komplex křenevé peroxidasy (horse radish peroxidase, HRP) s antidigoxigeninem. Pro samotné měření byl použit detekční systém sestávající z HRP, hydrochinonu a peroxidu vodíku. Tímto postupem bylo dosaženo spolehlivého rozlišení mezi DNA HPV16 a HPV18. Později byla amplifikace pomocí PCR nahrazena izotermální amplifikační metodou LAMP, při které byl do amplikonů přímo inkorporován DIG-dUTP pro vazbu antiDIG-HRP. Tato pozměněná metoda byla publikována v roce 2018 (cit.<sup>10</sup>) a později byla demonstrována na větším souboru klinických vzorků ( $n = 61$ )<sup>12</sup>. V roce 2021 byla navíc optimalizovaná metoda aplikována na buněčné lyzáty, čímž bylo prokázáno, že detekce může být provedena i bez předchozí izolace DNA (cit.<sup>13</sup>). Krokem k významnému zjednodušení detekční metody je také modifikace povrchu zlatých pracovních elektrod tak, aby docházelo k přímé hybridizaci (obr. 1). Vzorky se tak pro měření nemusí zpracovávat na magnetických kuličkách, a poté aplikovat na elektrodu, ale mohou být imobilizovány přímo na ní. Tento způsob provedení detekce DNA HPV16 a HPV18 byl publikován v roce 2022 (cit.<sup>14</sup>).

## 2.2. RNA nádorové biomarkery

Molekuly RNA, obdobně jako DNA, představují rozmanitou skupinu nádorových biomarkerů. Díky masiv-



Obr. 1. Detekce HPV viru na tištěné zlaté elektrodě. **A:** V případě, že LAMP reakce proběhla na základě přítomnosti templátu (HPV), došlo k hybridizaci biotin-dUTP značených amplikonů na sondu imobilizovanou na povrchu zlatých elektrod a následně vazbě streptavidinem značené polymerní peroxidasy (SPP). **B:** Při aplikaci elektrochemického substrátu – tetramethylbenzidinu (TMB) – dochází k reakci s SPP, která je měřena amperometricky. **C:** Výsledné proudové odezvy, odečtené po 120 s reakce pro detekci HPV16 a HPV18 pozitivní a negativní pacientky. Upraveno dle cit.<sup>14</sup>



nímu paralelnímu sekvenování nové generace bylo identifikováno velké množství kódujících i nekódujících RNA, jejichž hladina se mění během vzniku nebo progresu nádorového onemocnění. Mezi známé příklady kódujících biomarkerů, tj. mRNA transkriptů, patří např. komerčně dostupný panel padesáti mRNA sekvencí s názvem PAM50 (Prosigna test) pro jednodušší klasifikaci nádorů do jednotlivých podtypů u rakoviny prsu (<https://www.prosigna.com/>). Dalšími potenciálně zajímavými biomarkery jsou virové transkripty E6 a E7 z vysoce rizikových HPV. I když se HPV infekce obvykle stanovuje na úrovni virové DNA, virová E6/E7 mRNA by mohla sloužit jako prognostický biomarker korelující se zvýšenou aktivitou viru a tudíž s vyšším rizikem nádorové transformace napadené tkáně<sup>26</sup>. Proto se i my v současné době věnujeme vývoji elektrochemického testu pro stanovení hladin E6/E7 mRNA pomocí RT-LAMP, magnetických kuliček a elektrochemického měření, a to v kombinaci s monitorováním genu *E2*, který bývá po integraci HPV do hostitelského genomu eliminován<sup>27</sup>.

Nekódující RNA dnes představují obrovskou a rozmanitou skupinu RNA molekul, které regulují řadu fyziologických procesů (např. buněčné dělení, diferenciaci, vývoj a růst orgánů, imunitu nebo metabolismus). Není proto divu, že mají vliv i na patogenezi různých skupin onemocnění, zejména nádorových nebo autoimunitních. Mezi nekódující RNA patří jednak krátké nekódující RNA o délce menší než 200 nukleotidů (obvykle kolem 20–30 nukleotidů), zejména mikroRNA (miRNA), malé interferující RNA (small interfering RNA, siRNA) nebo Piwi-interagující RNA (piwi-interacting RNA, piRNA), a též rozsáhlá skupina tzv. dlouhých nekódujících RNA (long non-coding RNA, lncRNA) o délce větší než 200 nukleotidů<sup>6</sup>.

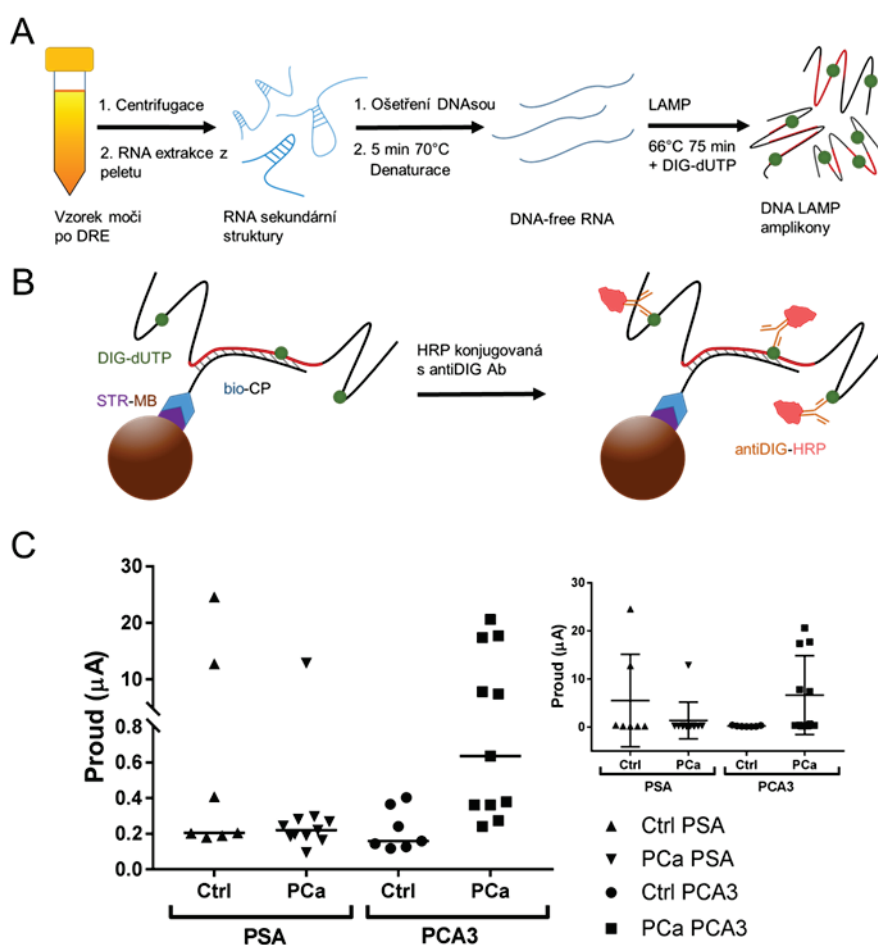
Nejvíce studované jsou zřejmě miRNA – molekuly známé už třicet let<sup>28</sup>, které jsou už delší dobu považovány nejenom za potenciální nádorové biomarkery<sup>29,30</sup>, ale nově i terapeutika<sup>31</sup> nebo terapeutické cíle<sup>32</sup>. Molekuly miRNA dělíme nejčastěji do dvou skupin, a to na tumor supresorové a onkogenní; tumor supresorové miRNA tlumí expresi onkogenů, a oproti zdravé tkáni tak mají v nádorech výrazně sníženou hladinu. Naopak onkogenní miRNA jsou v nádorech nadměrně exprimovány a jejich hladiny jsou vyšší v porovnání se zdravou tkání<sup>3</sup>. Současné metody detekce miRNA, např. RT-PCR, digitální PCR, DNA čipy (microarrays) nebo NGS jsou vysoce citlivé a umožňují paralelní detekci stovek molekul současně; jsou ovšem nákladné z hlediska instrumentace nebo potřebných reagentů, a rovněž časově náročné. Z tohoto hlediska by elektrochemické metody mohly být zajímavou alternativou<sup>33</sup>, což jsme chtěli demonstrovat vlastním vývojem a otestováním dvou různých strategií pro detekci onkogenních miRNA<sup>34,35</sup>. V první strategii jsme použili speciální protilátku S9.6 vůči krátkým hybridním DNA/RNA duplexům pro zachycení cílové miRNA sekvence (pomocí primární DNA sondy) na magnetických kuličkách, a dvě biotinem značené pomocné DNA sondy, které jsou k sobě částečně komplementární, a které po vazbě na primární DNA sondu vytvoří dlouhý řetězec (z toho název

hybridizační řetězová reakce, z angl. „hybridization chain reaction“, HCR). Tuto metodu jsme použili pro detekci panelu tří miRNA (miR-21, let-7a, miR-31) přímo v klinickém materiálu, a to ve stěrech z děložního hrdla žen, a úspěšně ji validovali pomocí digitální PCR (cit.<sup>34</sup>). I druhá strategie zahrnovala magnetické kuličky, ovšem za použití tzv. „His-tag zinc finger“ proteinu, který preferenčně váže dvoušroubovicové RNA duplexy, složené z cílové miR-21 a RNA sondy značené biotinem<sup>35</sup>. Obdobně jako v předchozí strategii, amperometricky měřený proud pocházel z peroxidasové reakce po vazbě streptavidin-HRP konjugátu na biotinem značenou sondu. Strategii jsme úspěšně aplikovali na prsní nádorovou linii MCF-7.

Kromě mikroRNA jsme vyvinuli elektrochemický test pro stanovení dlouhé nekódující RNA s názvem PCA3 (prostate cancer antigen 3), jejíž hladina je zvýšená u naprosté většiny mužů s rakovinou prostaty<sup>36</sup>. Jedná se o biomarker s vyšší specificitou pro nádory prostaty než v případě rutinně stanovovaného PSA (prostatický specifický antigen). Hladina PCA3 byla ve více než 90 % studovaných případů asi 60–100× vyšší než ve zdravé prostatické tkáni<sup>37</sup> a zároveň nedetegovatelná v jiných nádorech<sup>38</sup>. Námí vyvinutý test využíval RT-LAMP reakci pro amplifikaci PCA3 molekul, magnetické kuličky pro zachycení LAMP produktů a námí optimalizované amperometrické detekční schéma (obr. 2)<sup>11</sup>. Kromě prostatických nádorových linií jsme stanovovali PCA3 přímo v moči pacientů s nádorem prostaty (PCa,  $n = 11$ ) a u pacientů s benigním nálezem (Ctrl,  $n = 7$ ), a naše výsledky dobře korelovaly s klinickými daty z onkourologie.

Elektrochemická analýza obou typů nukleových kyselin, tj. DNA a RNA, funguje na velmi podobném principu, ale každá z nich má i svá specifika, která je třeba při vývoji nové metody znát. DNA je mnohem stabilnější, a zejména kratší sekvence DNA (např. PCR aplikony) jsou nenáročné, co se týče manipulace nebo skladování. U dlouhé genomové DNA je potřeba dbát na správné skladování, aby se předešlo její degradaci. Díky dvoušroubovicové struktuře je často nutné vzorek DNA zahřát, aby došlo k rozvolnění (denaturaci) a tím pádem k snadnější hybridizaci s DNA sondami. RNA je mnohem reaktivnější než DNA vzhledem k přítomnosti hydroxylové skupiny na 2'-uhlíku ribosy, a snadno podléhá hydrolytickému štěpení všudypřítomnými RNasami. Neopatrné zacházení proto může vést k nereprodukovatelným výsledkům. RNA tak musí být zpracovávána se zvýšenou opatrností, aby nedošlo k degradaci vzorku. Pro účely amplifikačních reakcí je RNA často přepisována do DNA a dále se oba typy vzorků zpracovávají stejným způsobem. Krátké nekódující mikroRNA jsou v tomto směru výjimkou, jsou relativně stabilní a příliš se nevyužívá jejich přepisu do komplementární sekvence DNA.

Nádorové biomarkery mající diagnostický, prediktivní, či prognostický význam, jsou slibnými cíli pro vývoj detekčních metod, jako jsou nejrůznější typy sekvenování, metody založené na hybridizaci nukleové kyseliny k sondě, či dříve používané metody štěpení nukleových kyselin na specifické fragmenty. V současné době běžně



Obr. 2. **Detekce prostatických nádorových RNA biomarkerů z moči.** **A:** Z moči odebrané po digitální rektální examinaci (DRE) byla izolovaná RNA, která byla ošetřena DNasou a po denuraci byla přidána do LAMP reakce. **B:** Výsledné LAMP amplikony obsahující digoxigeninem značené dUTP (DIG-dUTP) byly hybridizovány na povrch streptavidinových magnetických kuliček (STR-MB) modifikovaných biotinylovanou sondou (bio-CP). Následně došlo k označení peroxidasou konjugovanou s protilátkou proti digoxigeninu (antiDIG-HRP). **C:** Výsledky amperometrických měření (HRP/hydrochinon/ $\text{H}_2\text{O}_2$ ) pro oba RNA biomarkery PSA i PCA3 s rozdělením pacientů s časným záchytem nádorového onemocnění (PCa) a benigním onemocněním (Ctrl). K jednoznačné korelaci naměřených výsledků s klinickými daty došlo po kalkulaci poměrů PCA3/PSA (neukázáno). Upraveno z cit.<sup>11</sup> se svolením nakladatelství Elsevier.

používaným metodám detekce nukleových kyselin vládne PCR, i ta má však své nevýhody, a proto je smysluplné se zabývat vývojem možných alternativních diagnostických metod k tomuto zlatému standardu. Nadějným metodickým přístupem v této oblasti jsou IAT následované elektrochemickou detekcí nukleových kyselin, které by mohly nabídnout levnější a rychlejší diagnostiku nádorových biomarkerů.

### 3. Výzvy klinického materiálu

Velká část odborných prací zabývajících se vývojem elektrochemických biosenzorů demonstruje funkčnost

svých postupů pouze na modelovém systému, tj. detekcí syntetických oligonukleotidů, bakteriálních plasmidů nesoucích cílovou sekvenci, nebo komerčně zakoupených purifikovaných proteinů. Často zde lze nalézt i tzv. „spiking“, tedy smíchání cílové molekuly o přesně dané koncentraci s lidskou plasmou, lidským/zvířecím sérem, močí, aj. pro demonstraci použitelnosti v komplexním vzorku. Bohužel, tento model vytváří pouze slabé pozadí a nerefléktuje reálnou koncentraci analytu, která je často řádově nižší, a tudíž se signál analyzované molekuly může zcela ztratit. Stále častěji se objevují práce, které využívají buněčné kultury, kde např. pro detekci bodové mutace se jedná o velmi homogenní vzorek s přesně definovaným složením. Z hlediska výskytu mutace se může jednat pou-

ze o homozygotní (100%), nebo heterozygotní (50%) výskyt mutace v celkovém genomu buněčné linie. Takovýto model ovšem nemůže zcela nahradit heterogenní vzorek nádorové tkáně, kde se často mohou nacházet i buňky nenádorové, čímž se ještě více sníží zastoupení stanovovaného analytu<sup>11,20</sup>.

Zvolení správného postupu úpravy vzorků značně napomáhá úspěšné aplikaci biosenzoru. Před samotnou izolací biomarkeru je potřeba biologický materiál homogenizovat, a následně dochází k izolaci frakcí (DNA/RNA/proteiny) nebo konkrétních skupin molekul (miRNA, cfDNA, aj.). Tento krok často hraje klíčovou roli a správně zvolený protokol izolace má velký význam pro finální detekci. Pokud např. zvolíme kolonkovou sadu pro izolaci RNA s cílem detekce miRNA, může se stát, že nám cílová frakce RNA proteče, protože velikost miRNA (21–23 bp) není v zachytovém rozpětí kolonky. Takto připravený vzorek může být mylně vyhodnocen jako negativní. Takovéto omyly mohou být odhaleny stanovením kontrolního biomarkeru – molekuly ze stejné skupiny (např. mRNA, proteiny), která se ve vzorku nachází v hojném zastoupení, a vždy bychom měli být schopni ji detegovat. Z tohoto důvodu je dobré při vývoji metody vždy myslet na kontrolní analyt a pokud možno demonstrovat metody na panelu biomarkerů, které se stanovují i v klinických laboratořích<sup>4</sup>.

Další možnou úpravou metody může být zakoncentrování analytu. V tomto kroku dochází k dočasné imobilizaci na pevný nosič, často v podobě silikátové kolonky nebo magnetických částic. Oba tyto formáty umožňují rovněž promytí imobilizovaného analytu a jeho následnou eluci do menšího objemu. Může tak dojít k redukci objemu vzorků z mililitrů na mikrolitry a současněmu zvýšení koncentrace analytu. K imobilizaci se často využívají protilátky, které dokáží rozeznávat i strukturní motivy, např. 5-methylcytosin pro zachycení methylované DNA, nebo oligonukleotidy, nejčastěji poly-deoxythymín (poly-dT) pro vycytání mRNA nesoucí polyadenylovaný konec – dochází k hybridizaci celé frakce RNA bez ohledu na sekvenční.

Využití reálných vzorků, a to i v menším počtu, otevírá další nedostatečně zpracovanou, často až opomíjenou část publikací – statistiku. U kvalitních prací se setkáváme s reprodukovatelností, statistickými odchylkami, a dalšími statistickými parametry, avšak bez více rozmanitých vzorků nelze stanovit hodnoty jako specificitu, či senzitivitu vyvinutého testu. Tyto chybějící informace způsobené často právě absencí klinického materiálu snižují aplikační potenciál elektrochemických stanovení.

Použití a aplikace klinického materiálu ve vývoji biosenzorů může být náročné a často může výzkum značně zkomplikovat, avšak prokázání funkčnosti metodik na opravdu reálných vzorcích napomáhá k cestě translačního výzkumu. Ne všechna výzkumná pracoviště mají tyto možnosti, a proto jsou velmi často odkázána na různé formy spolupráce, pro které příprava reálných vzorků nemusí být prioritou. Alternativou mohou být banky biologického materiálu, které dokáží poskytnout nejen expertní služby,

klinický materiál, ale i potřebná data přesně dle požadavků výzkumného záměru.

#### 4. Síť českých biobank – BBMRI.cz

Existuje stále větší snaha o zavádění aktuálních vědeckých poznatků do klinické praxe, realizace ovšem nebývá vždy rychlá a překážky v získávání klinických vzorků se na tomto zpoždění jednoznačně podílí.

Právě pro posílení translačního výzkumu, vývoje nových detekčních metod, personalizované medicíny a zejména zvýšení dostupnosti klinického materiálu vznikla velká výzkumná infrastruktura (VVI) zaměřená na dlouhodobé skladování biologického materiálu a dat neboli biobanking, známá pod názvem Síť českých biobank (BBMRI.cz<sup>39</sup>), kam v současnosti spadá 8 českých výzkumných institucí (Masarykova univerzita; Univerzita Karlova a její lékařské fakulty v Praze, Hradci Králové a Plzni; Revmatologický ústav; Ústav hematologie a krevní transfúze, Univerzita Palackého a Masarykův onkologický ústav, který tuto národní síť koordinuje). Zároveň je tato česká síť biobank součástí evropského konsorcia BBMRI-ERIC (aktuálně zastupuje 23 států). V rámci tohoto konsorcia vznikla i řada online nástrojů a jedním z nich je největší katalog vzorků na světě<sup>40</sup>, v němž si lze přehledně zobrazit participující biobanky a zjistit jaké vzorky/diagnózy/materiály jsou k dispozici. Pomocí online komunikačního nástroje Negotiator<sup>41</sup> je možno si poměrně jednoduše a obratně domluvit rezervaci materiálu s příslušnými biobankami. Vzorky/data si lze v katalogu Directory podle potřeby vytřídit (dle materiálu, diagnózy, regionu, věku, biobanky, apod.) a následně poslat souhrnný požadavek do komunikačního nástroje Negotiator (zde je nutná registrace). V tomto nástroji se vyplní náležitosti konkrétní žádosti (popis projektu, řešitel, délka trvání, specifikace vzorků – počty a typ, souhlas etické komise, atp.) a poté je žádost rozeslána vybraným biobankám, které se vyjádří k množství a dostupnosti požadovaných vzorků. Tento systém zpřehledňuje a zjednodušuje hromadnou komunikaci mezi žadatelem a biobankou.

Mezi další zajímavé a dostupné služby poskytované touto velkou infrastrukturou vědcům i firmám patří kromě klinických vzorků a dat také možnost prospektivního sběru či doplnění informací/vzorků pro navazující projekty.

Je důležité si uvědomit, že právě kvalita testovaného materiálu je klíčová pro opakovatelnost, důvěryhodnost a robustnost výsledků výzkumu. Klinické vzorky dlouhodobě skladované v biobankách jsou zpracovávány standardizovanými postupy a certifikovanými metodami odborně proškoleným personálem, tak aby byla zachována excellentní kvalita materiálu.

#### 5. Závěr

Vývoj alternativních metod pro detekci nádorových biomarkerů, nejen na úrovni nukleových kyselin, se dostává v posledních letech do popředí, a to i díky nedávné

pandemii SARS-CoV-2. Se skokovým nárůstem potřebných vyšetření se ukázalo, že zlatý standard PCR nemusí být vždy dostatečný a je zapotřebí rychlejších a efektivnějších metod, které by bylo možno použít i na méně vybavených pracovištích. Tento celosvětový impuls snad napomůže rychlejšímu vývoji biosenzorů a v budoucnu lepší dostupnosti levných diagnostických testů na základě kombinace IAT s elektrochemií. Pro správný vývoj a posun biosenzorů k translačnímu výzkumu je nezbytné zapojení i reálných vzorků, které nemusí být vždy k dispozici přímo v dané výzkumné instituci. Zdrojem cenného a potřebného klinického materiálu mohou být i biobanky, které skladují vzorky různých materiálů a diagnóz ve vysoké kvalitě včetně asociovaných dat.

Posun vývoje biosenzorů může v budoucnu přispět k zlepšení diagnostiky jak nádorových onemocnění, tak v rámci preventivních programů a tím i lepší zdravotní péči.

*Tato práce byla podpořena MZ ČR – RVO (MOÚ, 00209805), MŠMT LM2023033, NÚVR (EXCELES, LX22NPO5102), a AZV ČR (NU21-08-00078, NU21-08-00057, NU23J-08-00006).*

#### Seznam zkratk

BCR-ABL1	breakpoint cluster region-abelson murine leukemia viral oncogene homolog 1
BRAF	B-rapidly accelerated fibrosarcoma
DIG	digoxigenin
FISH	fluorescence in situ hybridization
hCMV	lidský cytomegalovirus
HPV	lidský papilomavirus
HRP	horse radish peroxidase
IAT	izotermální amplifikační technika
KRAS	K-rat sarcoma virus
LAMP	loop-mediated isothermal amplification
PCR	polymerase chain reaction
NGS	next generation sequencing
RCA	rolling-circle amplification
RPA	recombinase polymerase amplification

#### LITERATURA

- Calzone K. A.: *Semin. Oncol. Nurs.* 28, 122 (2012).
- Aghabozorgi A. S., Bahreyni A., Soleimani A., Bahrami A., Khazaei M., Ferns G. A., Avan A., Hassani S. M.: *Biochimie* 157, 64 (2019).
- Bartosik M., Jirakova L.: *Klin. Onkol.* 31, 93 (2018).
- Bartosik M., Jirakova L.: *Curr. Opin. Electrochem.* 14, 96 (2019).
- Bartosik M., Hrstka R., Jirakova L.: *Klin. Onkol.* 31, 89 (2018).
- Moranova L., Bartosik M.: *Klin. Onkol.* 32, 65 (2019).
- Aliofkhazraei M., Ali N., v knize: *Comprehensive Materials Processing* (Saleem Hashmi, Gilmar Ferreira Batalha, Chester J. Van Tyne, Bekir Yilbas, ed.), str. 245. Elsevier, Oxford 2014.
- Bodulev O. L., Sakharov I. Y.: *Biochemistry* 85, 147 (2020).
- Deng H., Gao Z.: *Anal. Chim. Acta* 853, 30 (2015).
- Bartosik M., Jirakova L., Anton M., Vojtesek B., Hrstka R.: *Anal. Chim. Acta* 1042, 37 (2018).
- Moranova L., Stanik M., Hrstka R., Campuzano S., Bartosik M.: *Talanta* 238, 123064 (2022).
- Anton M., Moranova L., Hrstka R., Bartosik M.: *Anal. Methods* 12, 822 (2020).
- Izadi N., Sebuyoya R., Moranova L., Hrstka R., Anton M., Bartosik M.: *Anal. Chim. Acta* 1187, 339145 (2021).
- Sebuyoya R., Moranova L., Izadi N., Hrstka R., Moran L., Anton M., Bartosik M.: *Biosens. Bioelectron.* X 12, 100224 (2022).
- Lobato I. M., O'Sullivan C. K.: *TrAC, Trends Anal. Chem.* 98, 19 (2018).
- Xu L. L., Duan J. X., Chen J. M., Ding S. J., Cheng W.: *Anal. Chim. Acta* 1148, 238187 (2021).
- Sarhadi V. K., Armengol G.: *Biomolecules* 1, 1021 (2022).
- Ondraskova K., Sebuyoya R., Moranova L., Holcakova J., Vonka P., Hrstka R., Bartosik M.: *Anal. Bioanal. Chem.* 415, 1065 (2023).
- Dankner M., Rose A. A. N., Rajkumar S., Siegel P. M., Watson I. R.: *Oncogene* 37, 3183 (2018).
- Sebuyoya R., Valverde A., Moranova L., Strmiskova J., Hrstka R., Montiel V., Pingarron J. M., Barderas R., Campuzano S., Bartosik M.: *Sens. Actuators, B* 394, 134375 (2023).
- Cortés-Ciriano I. a 279 spoluautorů: *Nat. Genet.* 52, 331 (2020).
- Müller D., Györfy B.: *Biochim. Biophys. Acta Rev. Cancer* 1877, 188722 (2022).
- Martisoava A., Holcakova J., Izadi N., Sebuyoya R., Hrstka R., Bartosik M.: *Int. J. Mol. Sci.* 22, 4247 (2021).
- Mihelson N., McGavern D. B.: *Viruses* 13, 1264 (2021).
- Bartosik M., Durikova H., Vojtesek B., Anton M., Jandakova E., Hrstka R.: *Biosens. Bioelectron.* 83, 300 (2016).
- Manavi M., Hudelist G., Fink-Retter A., Gschwantler-Kaulich D., Pischinger K., Czerwenka K.: *Int. J. Gynecol. Cancer* 18, 285 (2008).
- Collins S. I., Constandinou-Williams C., Wen K., Young L. S., Roberts S., Murray P. G., Woodman C. B.: *Cancer Res.* 69, 3828 (2009).
- Lee R. C., Feinbaum R. L., Ambros V.: *Cell* 75, 843 (1993).
- He B. X. a 10 spoluautorů: *Int. J. Biol. Sci.* 16, 2628 (2020).
- Mo M. H., Chen L., Fu Y. B., Wang W., Fu S. W.: *J. Cancer* 3, 432 (2012).
- Romano G., Acunzo M., Nana-Sinkam P.: *Cancers* 13, 1526 (2021).

32. Shah M. Y., Calin G. A.: *WIREs RNA* 5, 537 (2014).
33. Bartosik M., Hrstka R.: *Rev. Anal. Chem.* 36, 20160022 (2017).
34. Jirakova L., Hrstka R., Campuzano S., Pingarron J. M., Bartosik M.: *Electroanalysis* 31, 293 (2019).
35. Povedano E. a 10 spoluautorů: *Anal. Bioanal. Chem.* 412, 5031 (2020).
36. Wright C. M., v knize: *Epigenetic Cancer Therapy* (Steven G. Gray, ed.), str. 91. Academic Press, Boston 2015.
37. de Kok J. B., Verhaegh G. W., Roelofs R. W., Hessels D., Kiemeny L. A., Aalders T. W., Swinkels D. W., Schalken J. A.: *Cancer Res.* 62, 2695 (2002).
38. Bussemakers M. J., van Bokhoven A., Verhaegh G. W., Smit F. P., Karthaus H. F., Schalken J. A., Debruyne F. M., Ru N., Isaacs W. B.: *Cancer Res.* 59, 5975 (1999).
39. <https://www.bbmri.cz>, staženo 15. 6. 2023.
40. <https://directory.bbmri-eric.eu>, staženo 15. 6. 2023.
41. <https://negotiator.bbmri-eric.eu/>, staženo 15. 6. 2023.

**L. Moráňová<sup>a</sup>, M. Bartošik<sup>a</sup>, J. Strmisková<sup>a</sup>, and K. Nováková<sup>b</sup>** (<sup>a</sup>*RECAMO, Masaryk Memorial Cancer Institute, Brno*, <sup>b</sup>*BBM, Masaryk Memorial Cancer Institute, Brno, Czech Republic*): **Electrochemical Analysis of Clinical Samples – a Path to Translational Research**

Precise diagnostics of cancer or other diseases is crucial when selecting proper treatment. Personalized medicine puts high demands on the accuracy of nucleic acid biomarkers analysis, where subtle differences at the nucleotide level are often involved. Isothermal amplification techniques offer new possibilities of DNA and RNA amplification without using PCR, and their combination with electrochemistry provide a promising fast and cost-effective alternative diagnostic tool. Although electrochemical biosensors are still insufficiently applied to clinical material, thus hindering their development, recent advancements show great promise in translational research. Banks of biological material (biobanks) are specialized workplaces focused on the long-term preservation and processing of clinical material and offer a wide range of expert services, primarily for research purposes, in particular the provision of biological samples and associated pseudonymized data. Their involvement in the field of electrochemical biosensors can facilitate application of electrochemical methods into clinical laboratories and expand the portfolio of currently used diagnostic methods.

**Keywords:** biosensor, isothermal amplification techniques, electrochemistry, biomarker, biobank

*Acknowledgment*

*This work was supported by Ministry of Health, Czech Republic – conceptual development of research organization (MMCI,00209805), the project BBMRI.cz no. LM2023033, National Institute for Cancer Research (EXCELES, LX22NPO5102) and grants AZV ČR (NU21-08-00078, NU21-08-00057, NU23J-08-00006).*



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.

## NANOČÁSTICE JAKO LÉKOVÁ FORMA V PRAXI

EVA NAVRÁTILOVÁ RADINOVÁ<sup>a</sup>, ELIŠKA MAŠKOVÁ<sup>b</sup>, KATEŘINA KUBOVÁ<sup>a</sup> a JAKUB VYSLOUŽIL<sup>a</sup><sup>a</sup> Ústav farmaceutické technologie, Farmaceutická fakulta, Masarykova univerzita, Palackého třída 1946/1 Brno,<sup>b</sup> Oddělení farmakologie a toxikologie, Výzkumný ústav veterinárního lékařství, Hudcova 70, Brno, Česká republika  
vyslouzilj@pharm.muni.cz

Došlo 15.5.23, přijato 18.7.23.

Nanočástice se řadí mezi moderní a rozvíjející se skupinu lékových forem s velkým potenciálem pro další budoucí využití. Do farmakoterapie přináší řadu výhod. Kombinace jejich velikosti, specifických vlastností pomocných látek a správně zvoleného léčiva může mít za výsledek cílenější terapii u některých vážných diagnóz. Se subcelulární velikostí lékové formy jsou ale spojeny i potencionální nežádoucí účinky, a ačkoliv výzkum probíhá s bezpečím pomocných látek a typů nanočástic, do klinické praxe se ve skutečnosti prosadil jen jejich menší podíl. Tento stručný přehled pojednává právě o těchto v praxi používaných třídách nanočástic, přináší základní charakteristiku, rozdělení a případně klinické využití. Součástí článku je také aktuální přehled zástupců jednotlivých tříd nanočásticových lékových forem, které jsou v současnosti registrovány v ČR.

Klíčová slova: nanočástice, léková forma, polymerní nanočástice, lipozomy, nanokrystaly

## Obsah

1. Úvod
2. Nanokrystalické částice
3. Anorganické nanočástice
4. Polymerní nanočástice
  - 4.1. Konjugáty
  - 4.2. Polymerní micely
  - 4.3. Proteinové nanočástice
  - 4.4. Syntetické polymerní nanočástice
5. Nanočástice na bázi lipidů
  - 5.1. Lipozomy
  - 5.2. Pevné lipidové nanočástice
6. Závěr

## 1. Úvod

Směřování farmakoterapie za několik posledních desetiletí ukazuje, že vývoj nových léčiv sám o sobě není dostačujícím mechanismem k zajištění pokrokové léčby. Důvodem je často komplikovanost onemocnění, nevhodné chemické a fyzikální vlastnosti léčiv, či jejich specifické farmakokinetické a farmakodynamické vlastnosti včetně toxicity. Je proto žádoucí se na vývoj dívat optikou všech farmaceutických oborů včetně farmaceutické technologie. Řešením problému může být totiž často správné zvolení vhodného nosiče léčiva, který umožňuje řízené uvolňování dávky podle specifických potřeb terapie<sup>1</sup>. Jedním z moderních směrů, kterými se farmaceutická technologie

v posledních dekádách zabývá, jsou nanočásticové lékové formy.

Termín „nanomedicína“ se obecně používá pro léčivé přípravky, u kterých se ve vývoji a výrobě používají nanomateriály a/nebo nanotechnologie<sup>2</sup>. Nanočásticové lékové formy lze definovat jako disperze či pevné částice o velikosti 1–100 nm, je možné se ale setkat i s rozmezím 1–1000 nm, záleží tedy na literatuře<sup>3</sup>. Snížením velikosti částic se zvyšuje celkový povrch až o několik řádů<sup>4</sup>. Nanonosiče mají klíčové postavení v optimalizaci formulace léčiva např. zlepšením rozpustnosti hydrofobních látek ve vodě, stabilizací snadno rozložitelných sloučenin, zvýšením retence léčiv v cílových tkáních, ochranou léčiv před enzymovou degradací, zlepšením buněčného vychytávání a možností cíleného podávání. Cílené podání neboli „drug targeting“, mají přitom v některých indikacích nanočástice přirozeně díky své velikosti. Např. u onkologických diagnóz se setkáváme s propustnějším epitelem, kterým mohou nanočástice o velikosti přibližně 20–100 nm pronikat hlouběji do nádorové tkáně, což jim u zdravé tkáně umožněno není. V takovém případě mluvíme o pasivním „drug targetingu“<sup>5</sup>. Všechny uvedené výhody vedou i ke zvýšení biologické dostupnosti. Dají se také využít jako diagnostická činidla a teranostické nástroje, které pomáhají současně diagnostikovat, léčit a sledovat vývoj nádorů<sup>6</sup>.

Nanočástice jako potenciální léková forma jsou také velmi specifické s ohledem na nežádoucí účinky výsledného léčivého přípravku. Malá velikost nanočástic může simulovat intracelulární biomolekuly zapojené do buněčné

signalizace, což může vést k nepříznivým biologickým interakcím<sup>7</sup>. Dochází k většímu rozptylu nanočástic do jádra, což může způsobit vnitřní toxicitu, genotoxicitu a mutagenicitu. Nanočástice mohou také ovlivnit koagulační kaskádu a vyvolat závažné trombotické komplikace<sup>8</sup>. Akutní toxicita nanočástic je zprostředkována zánětlivou reakcí neutrofilů a makrofágů spočívající v produkci reaktivních forem kyslíku a dusíku, které způsobují oxidační a nitrosativní stres. Existuje velké množství důkazů o akumulaci nanočástic v játrech při intravenózním podání či jejich možné translokaci do centrální nervové soustavy, kardiovaskulárního systému, či ledvin<sup>9</sup>. Spektrum nežádoucích účinků je specifické pro každý typ nosiče a jejich vyšší výskyt u některých typů nanočástic je důvodem, proč se ve farmakoterapii některé z nich vůbec nepoužívají. V současné době je věnováno značné úsilí přípravě dobře definovaných nanočástic z hlediska velikosti a tvaru, neboť tyto faktory hrají významnou roli v chování nanomateriálů v podmínkách *in vivo*<sup>10</sup>.

Obecně se nanočástice dají různými způsoby rozdělit do několika podtříd s řadou zástupců. V tomto přehledu budou stručně zmíněny pouze ty typy nanočástic, které se prosadily v klinické praxi a představují dnes pevnou součást farmakoterapie. Součástí přehledu je také výčet konkrétních registrovaných přípravků s důrazem na léčivé přípravky registrované v České republice.

## 2. Nanokrystalické částice

Za krystalické nanočástice jsou považovány krystaly léčiva v rozsahu od několika desítek až po stovky nanometrů<sup>11</sup>. Původně byly vyvinuty pro zvýšení rozpustnosti

léčiv špatně rozpustných ve vodě. Jsou potenciálně využitelné pro různé cesty podání, ať už se jedná o perorální, parenterální, oční či plicní<sup>11</sup>. Nanokrystaly se připravují dvěma základními technikami. Tou první je technika „zdola nahoru“ (bottom-up). Řadí se sem řízená precipitace/krytalizace. Druhou možností je technika „shora dolů“ (top-down) a jedná se v podstatě o rozmělnění hrubých práškových léčiv mletím v médiu nebo vysokotlakou homogenizací<sup>3,12</sup>. Na rozdíl od jiných lékových nanoforem neobsahují nosič, a nabízí proto teoreticky až 100% obsah léčiva v dávce, prakticky se však pohybuje mezi 50 až 90 %. Vysoký obsah léčiva vede k uspokojivé terapeutické koncentraci při nižší dávce<sup>3</sup>. Nanokrystaly mohou být použity jako prášky pro přípravu suspenze nebo mohou být součástí formulace pevných lékových forem, jako jsou tablety nebo tobolky.

Zvýšení rozpustnosti, a tedy i biodostupnosti nezáleží jen na velikosti částic, ale také na typu krystalické fáze. Rozlišujeme 4 základní fyzikální a chemické typy: anhydráty, hydráty, soli, a kokrystaly<sup>13</sup>. U všech je navíc možné se setkat s polymorfií<sup>13</sup>. Z pohledu stálosti vlastností se jako ideální jeví stabilní anhydrát, ale pokud se jedná o polymorfní systém, tak čím stabilnější polymorf, tím nižší bude jeho rozpustnost. Z důvodu zvýšení rozpustnosti nebo např. obejití patentu anhydrátu je možné použít hydráty a především soli. U těch platí, že jejich maximální rozpustnost souvisí s určitou hodnotou pH, což je nutné zohlednit v závislosti na požadované cestě podání. Nabídka vhodných forem léčiva rozšiřují kokrystaly, což jsou multikomponentní fáze, které mohou mít vyšší rozpustnost než příslušné anhydráty<sup>14</sup>. V neposlední řadě je nutné zmínit také amorfni formy léčiv, které obvykle vykazují vyšší rozpouštěcí rychlost a někteří autoři je, ne zcela

Tabulka I  
Přehled lékových forem s obsahem nanokrystalů registrovaných v ČR

Účinná látka	Registrovaný název	Popis materiálu	Indikace	Léková forma
Aprepitant	Emend <sup>®</sup>	nanokrystaly	prevence nauzey při chemoterapii	tvrdá tobolka
Megestrol-acetát	Megace <sup>®</sup>	nanokrystaly	karcinom prsu, endometria, anorexie	perorální suspenze
Sirolimus	Rapamune <sup>®</sup>	nanokrystaly	profylaxe orgánové rejekce po transplantaci	perorální roztok
Fenofibrát	Lipanthyl NT <sup>®</sup>	nanokrystaly	hypertriglyceridemie, hyperlipidemie	potahovaná tableta
Paliperidon-palmitát	Xeplion <sup>®</sup>	nanokrystaly	schizofrenie	injekční suspenze s prodlouženým uvolňováním
Paliperidon-palmitát	Trevicta <sup>®</sup>	nanokrystaly	schizofrenie	injekční suspenze s prodlouženým uvolňováním
Olanzapin	Zypadhera <sup>®</sup>	nanokrystaly	schizofrenie	prášek a rozpouštědlo pro injekční suspenzi s prodlouženým uvolňováním

Zpracováno dle<sup>18–22</sup>

správně, označují za ideální formu pro nanokrystaly<sup>15</sup>. Další významné faktory ovlivňující vlastnosti krystalů jsou tvar částic, povrchový náboj, či typ stabilizátoru<sup>13,15</sup>.

Komerční výhodu technologie nanokrystalů v porovnání s jinými lékovými nanoformami zvyšuje relativně krátká doba klinického schvalování. Zatímco komercializace lipozomů trvala takřka 25 let, tak například nanokrystalový přípravek Emend<sup>®</sup> se po podání první patentové přihlášky na počátku 90. let objevil na trhu za méně než 10 let. Emend<sup>®</sup> prášek pro perorální suspenzi je nanoformulací aprepitantu, což je ve vodě špatně rozpustné antiemetikum, které se absorbuje pouze v horní části gastrointestinálního traktu<sup>16</sup>. Nanoforma aprepitantu proto významně zvýšila jeho perorální biologickou dostupnost. Dalším podobným příkladem může být imunosupresivum Rapamune<sup>®</sup> (sirolimus), jehož nanočástice byly připravené mletím v perlovém mlýně a jeho perorální biologická dostupnost je díky tomu o 21 % vyšší ve srovnání s jeho konvenční formou<sup>16</sup>. Mletím v perlovém mlýnu je upraven i stimulant chuti k jídlu megestrol-acetát v přípravku Megace<sup>®</sup>. Díky tomu se zlepšila rychlost jeho rozpouštění, zvýšila se jeho biodostupnost po perorálním podání a čtyřnásobně se snížil objem jedné dávky<sup>17</sup>. Celá řada přípravků s nanokrystaly je registrována i v České republice (tab. I).

### 3. Anorganické (kovové) nanočástice

Anorganické/kovové nanočástice představují poměrně široký pojem. Ve farmakoterapii se již v minulosti prosadily především soli železa (tab. II), které se používají ke zvýšení biologické dostupnosti při jeho deficitu. Jedná se o jednu z nejdéle používaných nanočástic vůbec, a je možné je zahrnout i mezi nanokrystaly. V zahraničních klinických studiích se pak začínají objevovat kovové částice k terapii onkologických onemocnění. V klinické fázi testování je např. přípravek AuroShell<sup>™</sup>, což jsou křemíkové nanočástice se zlatou slupkou. Tyto nanočástice jsou po podání přednostně deponovány do nádorové tkáně (pasivní drug targeting). Po kumulaci nanočástic v nádorové tkáni se daná oblast ozáří laserem s vlnovou délkou blízkou infračervenému záření. Zlato přemění energii fotonů z laseru na tepelnou energii, kterou se nádorová tkáň vypálí, tzv. termální ablace. Zdravá tkáň je díky přednostní depozici nanočástic do nádoru zasažena minimálně. Jedná se čas-

tečně o invazivní terapii, protože katetr s optickým vláknem se musí zavést přímo do nádorové tkáně. V současnosti probíhá klinické testování jejich možného využití při léčbě rakoviny prostaty. Jako významná výhoda se jeví mnohem kratší doba rekonvalescence v řádech dnů<sup>23</sup>. Dalším podobným preparátem jsou nanočástice oxidu železnatého registrované pod názvem Nanotherm<sup>®</sup>. Po depozici v nádorové tkáni vlivem vnějšího magnetického pole vibrují, tkáň se zahřívá, snižuje se její rezistence vůči chemoterapii a může docházet i k termální ablacii. V současné době je tento přípravek již registrován v USA k léčbě glioblastomu<sup>24</sup>.

### 4. Polymerní nanočástice

Další širší podskupinou jsou polymerní nanočástice. Jako nosiče se zde používají polymerní látky, které lze podle původu rozdělit na dva základní typy, a sice na přírodní a syntetické polymery. Výhodou přírodních polymerů je, že jsou většinou biologicky rozložitelné. Nicméně jejich použití je omezené, protože v závislosti na šaržích mohou být mírně imunogenní<sup>25</sup>. Naproti tomu syntetické polymery mají lépe kontrolovatelné chemické složení<sup>10</sup>. Ve výzkumu se uplatňuje celá řada polymerů, nicméně v praxi našly využití především polyethylenglykoly (PEG), které se používají ke konjugaci proteinových léčiv a přírodní polymer albumin<sup>25</sup>. V současné době se do této skupiny zařazují až tři třídy nanočástic – konjugáty, polymerní micely a proteinové nanočástice.

#### 4.1. Konjugáty

Řada autorů vyčleňuje konjugáty léčiv jako samostatnou skupinu nanočástic. Konjugace nízkomolekulárních léčiv s biokompatibilními polymery nachází uplatnění zejména u léčiv k terapii rakoviny<sup>26</sup>. Díky konjugaci vzrůstá celková molekulová hmotnost léčiv, a to přináší celou řadu výhod. Konjugáty polymer-léčivo se staly důležitým nástrojem pro řízené uvolňování a cílené dodávání léčiv, a nabízí tak zvýšenou terapeutickou účinnost, stabilitu či nižší toxicitu<sup>19,26</sup>. Průlom v konjugaci nastal koncem 70. let 20. století, kdy se začaly používat syntetické polymery včetně PEG, které se ukázaly jako jedny z nejlepších forem. Dnes se jedná o nejrozšířenější „neviditelné polymery“ v oblasti dodávání léčiv. Umožňu-

Tabulka II  
Přehled anorganických a metalických nanočástic registrovaných v ČR

Účinná látka	Registrovaný název	Typ nanočástic	Indikace	Léková forma
Železitá sůl sacharosy	Venofer <sup>®</sup>	anorganické/kovové	deficit železa	injekční roztok
Natrium-ferrum-glukonát	Ferrlecit <sup>®</sup>	anorganické/kovové	deficit železa	injekční roztok
Železitá sůl karboxymaltosy	Ferinject <sup>®</sup>	anorganické/kovové	deficit železa	injekční/infuzní roztok

Zpracováno dle<sup>18,19,22</sup>



jí totiž léčivu či celé lékové formě obejít retikuloendoteliální systém (RES), a výrazně tak prodloužit biologický poločas, zlepšit terapeutické účinky, zredukovat nežádoucí účinky a podpořit cílené dodání<sup>27,28</sup>. K formulování PEGylovaných nanočástic se používají 3 základní přístupy: (1) molekulární samouspořádání vzniká nejčastěji nanoprecipitací (také nazývaná difuze rozpouštědla) nebo metodou odpaření rozpouštědla. (2) Fyzikální adsorpce, kde dochází k fyzikální adsorpci PEG na nanočástici, kdy je PEG rozpuštěn ve vodné fázi a interakce s povrchem nanočástic je řízena vazbou ligandu hydrofobními, či elektrostatickými interakcemi. (3) Chemická konjugace vzniká mezi povrchem substrátu a koncovými skupinami PEG (cit.<sup>29,30</sup>).

#### 4.2. Polymerní micely

Polymerní micely náleží mezi koloidní nanonosiče o velikosti v rozmezí od 10 do 100 nm na bázi amfifilních molekul, které se formují spontánně ve vodném roztoku při koncentracích nad kritickou micelární koncentrací (CMC)<sup>31</sup>. Vzhledem k hydrofobnímu prostředí jádra, mají

micely dobrý solubilizační potenciál a jsou schopny solubilizovat i špatně rozpustná léčiva (např. paklitaxel, docetaxel, kamptotecin)<sup>32</sup>. Zároveň chrání molekuly léčiva před inaktivací v těle, což zvyšuje jejich biologickou dostupnost, cirkulační čas a umožňují řízené uvolňování léčiva. V současných komerčních přípravcích se v této úloze setkáváme s polyethoxylovaným ricinovým olejem (Cremophor<sup>®</sup> EL) či s polysorbátem 80 (Polyoxyethylen (80) sorbitanmonooleát), který nalezneme i v přípravku Taxotere<sup>®</sup> registrovaném v České republice (tab. III). Ty se ale při systémovém podání mohou projevit řadou nežádoucích účinků, jako je hemolýza, hypersenzitivita či neurotoxicita<sup>33</sup>. I z tohoto důvodu je v současné době předmětem zájmu výzkumu tvorba bezpečnějších molekul jako např. blokovaný kopolymer PEG a poly(mléčné-co-glykolové) kyseliny (PLGA), a další<sup>34,35</sup>.

#### 4.3. Proteinové nanočástice

Proteiny se řadí mezi přírodní molekuly, které mají jedinečné funkce a vlastnosti v biologických materiálech. Nabízejí řadu slibných vlastností, kterými jsou biologická

Tabulka III  
Přehled polymerních nanočástic registrovaných v ČR

Účinná látka	Registrovaný název	Typ nanočástic	Indikace	Léková forma
Certolizumab pegol	Cimzia <sup>®</sup>	PEGylovaný fragment protilátky	artritická onemocnění, psoriáza	injekční roztok
Glatiramer-acetát	Copaxone <sup>®</sup>	náhodný kopolymer L-glutamátu, L-alaninu, L-lysinu a L-tyrosinu	roztroušená skleróza (RS)	injekční roztok
Peginterferon $\beta$ -1A	Plegridy <sup>®</sup>	konjugát polymer-protein (PEGylovaný IFN $\beta$ -1a)	roztroušená skleróza	injekční roztok
Pegvisomant	Somavert <sup>®</sup>	PEGylovaný HGH receptor antagonist	akromegalie	injekční roztok
Pegepoetin $\beta$	Mircera <sup>®</sup>	PEGylovaný protein IFN alfa-2a	anémie	injekční roztok
Pegfilgrastim	Neulasta <sup>®</sup>	PEGylovaný GCSF protein	neutropenie	injekční roztok
Peginterferon $\alpha$ -2A	Pegasys <sup>®</sup>	PEGylovaný protein IFN alfa-2b	chronická hepatitida B nebo C	injekční roztok
Pegaspargasa	Oncaspar <sup>®</sup>	konjugát polymer-protein PEGylovaný L-asparaginasou	leukemie	injekční roztok
Trastuzumab emtansin	Kadcyla <sup>®</sup>	konjugát protilátka-léčivo	karcinom prsu	prášek pro koncentrát pro infuzní roztok
Ibritumomab tiuxetan	Zevalin <sup>®</sup>	konjugát	folikulární lymfom	kit pro radiofarmakum pro infuzi
Trihydrát decetaxelu	Taxotere <sup>®</sup>	micely	karcinom prsu, plic, prostaty, žaludku, hlavy a krku	koncentrát pro infuzní roztok
Paklitaxel	Abraxane <sup>®</sup>	proteinové nanočástice	karcinom prsu, pankreatu, plic	prášek pro infuzní disperzi

Zpracováno dle<sup>3,18,19</sup>

rozložitelnost, nulová antigenicita, či stabilita během skladování<sup>36</sup>. Z celé řady experimentálně testovaných proteinů se do praxe prosadil albumin, konkrétně přípravek Abraxane<sup>®</sup> (tab. III). Jedná se o nanočástice o velikosti přibližně 130 nm obsahující paklitaxel nekovalentně vázaný na molekule albuminu. Ve vodném prostředí vytváří koloidní suspenzi a po intravenózním podání dochází v krevním řečišti k rozpadu nanočástic na menší rozpustné komplexy o velikosti přibližně 10 nm. Albumin po navázání na receptor gp60 přirozeně zprostředkovává endotelovou transcytózu složek plazmy kaveolami (typ lipidového raftu vyznačující se invaginací plazmatické membrány). Nanočástice jsou díky tomu transportovány přes lumen endoteliálních buněk do intersticia mezi endotel a nádorovou tkáň. Do oblasti intersticia je přítom z nádorové tkáně vypouštěn SPARC protein (Secreted Protein Acidic Rich in Cysteine), který by za normálních podmínek vázal albumin transportující živiny. Naváže se však i na komplex albuminu s paklitaxelem, který se po vzniku komplexu SPARC-albumin vlivem změny konformace uvolní. Volný paklitaxel pak jako lipofilní molekula snadno prochází přes plazmatickou membránu nádorových buněk, kde začne působit svým standardním mechanismem účinku. Výsledkem je významné snížení nežádoucích účinků oproti konvenčním přípravkům s paklitaxelem<sup>37,38</sup>.

#### 4.4. Syntetické polymerní nanočástice

Jedná se o nanočásticovou lékovou formu s analogií k polymerním mikročásticím. Výhodou syntetických polymerů je lépe kontrolovatelné chemické složení<sup>10</sup> a nižší imunogenita<sup>25</sup>. Ačkoliv existuje řada studií, do praxe se tento typ nanočástic zatím neprosadil. Důvod, proč jej zmiňujeme, je chybné zařazení přípravku Eligard<sup>®</sup> mezi syntetické polymerní nanočástice v řadě vědeckých rešeršních publikacích. Z bližšího studia souhrnu údajů o přípravku (SPC) vyplývá, že se nejedná o nanočástice ze syntetického kopolymeru PLGA ale o *in situ* implantát. PLGA je totiž rozpuštěn v *N*-methylpyrrolidonu a po subkutánní aplikaci do vodného prostředí těla PLGA precipituje v implantát<sup>39</sup>.

## 5. Nanočástice na bázi lipidů

Technologie lipidových nanočástic (LNP – Lipid Nanoparticles) v současné době sehrává významnou roli ve vývoji inovativních nanočásticových systémů a představuje slibný nosič pro dodávání řady terapeutik. První generaci LNP představují lipozomy, které byly následovány pevnými lipidovými nanočásticemi. LNP se pyšní vyšší biokompatibilitou ve srovnání s polymerními a anorganickými nanočásticemi, mají výhodnou penetrační schopnost, biologickou odbouratelnost, strukturální flexibilitu a nižší imunogenicitu. Nespornou výhodou je rychlá výroba většího množství LNP, což usnadňuje přechod do komerčních aplikací<sup>40</sup>.

### 5.1. Lipozomy

Lipozomy jsou obvykle sférické částice složené z jedné nebo více dvojvrstev fosfolipidů<sup>1</sup>. Přestože je metoda přípravy lipozomů známá již od 60. let minulého století, hlavní vývoj lipozomálních formulací proběhl na konci devadesátých let. Vzhledem ke své velikosti, amfifilnímu charakteru, minimální toxicitě a biokompatibilitě jsou lipozomy hojně klinicky využívány. Lipofilní léčiva bývají začleněna mezi uhlovodíkové řetězce lipidové dvojvrstvy, zatímco hydrofilní léčiva jsou solubilizována ve vnitřním hydrofilním jádru<sup>41</sup>. Uvolňování léčiva, stabilita *in vivo* a biodistribuce jsou dány mj. velikostí, povrchovým nábojem, hydrofobicitou a membránovou fluiditou<sup>1</sup>. Jako pomocné látky k přípravě lipozomů se využívají fosfolipidy jako např. fosfatidylcholin, fosfatidylserin nebo fosfatidylglycerol, a k stabilizaci struktury se používá cholesterol. V případě, že lipozomy obsahují i fosfolipidy s navázaným řetězcem PEG, vznikají tzv. „stealth“ lipozomy (dlouhodobě cirkulující lipozomy). Ty jsou schopny se vyhnout retikuloendotelovému systému, čímž se zvyšuje cirkulační poločas a snižuje plazmatická clearance, což zajišťuje vyšší stabilitu a nižší výskyt některých nežádoucích účinků<sup>22</sup>. PEG však může být imunogenní a opakovaná aplikace může způsobit vznik Anti-PEG IgM protilátek.

Vnitřní struktura lipozomů závisí na způsobu přípravy. Mohou to být buď malé unilamelární vezikuly (SUV) o průměru 20–100 nm, velké unilamelární vezikuly (LUV) o průměru 100–1000 nm, obří unilamelární vezikuly (GUV) s průměrem větším než 1000 nm, či multilamelární vezikuly (MLV) o průměru větším než 500 nm, ve kterých lipidové dvojvrstvy vytvářejí cibulovitou vícevrstvou strukturu. Jako systémy pro dodání léčiv se používají především SUV a menší MLV. Pro farmaceutické účely a zejména pro parenterální podávání je vhodná velikost částic  $\leq 100$  nm (cit.<sup>41</sup>). Jednoduchou hydratací tenkého lipidového filmu (Banghamova metoda) takové částice zpravidla připravit nelze, proto je nutné využít složitější metody a úpravy postupů, jako je extruze lipozomů, Mozafariho metoda nebo „micromixing“. Další úskalí při přípravě představuje nižší účinnost enkapsulace, kdy mnohdy dochází k rychlému úniku hydrofilních léčiv a některé formulace vykazují špatnou stabilitu při skladování<sup>42</sup>. Z tohoto důvodu se u některých produktů setkáváme s tzv. „remote loading“ mechanismem, kdy je léčivo do lipozomu napouštěno až po vytvoření samotného nosiče. Typickým příkladem jsou např. preparáty s cytostatikem doxorubicinem, které je do lipozomů napouštěno na základě pH gradientu za využití tlumivého roztoku citronové kyseliny nebo za pomoci síranu amoného<sup>43</sup>.

### 5.2. Pevné lipidové nanočástice

Další vývojovou etapu LNP představují pevné lipidové částice (solid lipid nanoparticles – SLN). Jedná se o koloidní nanonosiče s pevným jádrem. Jsou složeny

Tabulka IV  
Přehled nanočástic na bázi lipidů registrovaných v ČR

Účinná látka	Registrovaný název	Popis materiálu	Indikace	Léková forma
Irinotekan-sukrososfát	Onivyde pegylated liposomal <sup>®</sup>	pegylované lipozomy	karcinom pankreatu	koncentrát pro infuzní disperzi
Mifamurtid	Mepact <sup>®</sup>	lipozomy	nemetastazující osteosarkom	prášek pro koncentrát pro infuzní disperzi
Daunorubicin, cytarabin	Vyxeos <sup>®</sup>	lipozomy	akutní myeloidní leukemie	prášek pro koncentrát pro infuzní roztok
Doxorubicin citrát	Myocet liposomal <sup>®</sup>	lipozomy	karcinom prsu	prášek, disperze a rozpouštědlo koncentrátu pro infuzní disperzi
Doxorubicin-hydrochlorid	Caelyx pegylated liposomal <sup>®</sup>	lipozomy	karcinomy, Kaposiho sarkom	koncentrát pro infuzní roztok
Fosfolipidy z prasečích plic	Curosuri <sup>®</sup>	lipozomy	léčba nezralých novorozenců se syndromem dechové tísně	suspenze
Verteporfin	Visudyne <sup>®</sup>	lipozomy	neovaskulární makulární degenerace	infuzní roztok
Oktokog alfa	Advate <sup>®</sup>	lipozomy	hemofilie A	prášek pro injekční roztok s rozpouštědlem
Propofol	Propofol-Lipuro <sup>®</sup>	lipozomy	intravenózní anestetikum	injekční/infuzní emulze
Bupivakain	Exparel liposomal <sup>®</sup>	lipozomy	anestetikum	injekční disperze s prodlouženým uvolňováním
Amfotericin B	Abelcet lipid complex <sup>®</sup>	lipozomy	mykózy	koncentrát pro infuzní disperzi
Amikacin-disulfát	Arikayce liposomal <sup>®</sup>	lipozomy	plicní infekce	disperze k rozprašování
Antigen (glykoprotein e) viru planých neštovic	Shingrix <sup>®</sup>	lipozomy	prevence herpes zoster a postherpetické neuralgie	prášek a suspenze pro injekční suspenzi
Sodná sůl patisiranu	Onpattro <sup>®</sup>	lipidové nanočástice	hereditární transthyretinová amyloidóza	koncentrát pro infuzní roztok
Sodná sůl lumasiranu	Oxlumo <sup>®</sup>	lipidové nanočástice	primární hyperoxalurie 1. typu	injekční roztok
Sodná sůl givosiranu	Givlaari <sup>®</sup>	lipidové nanočástice	akutní hepatální porfyrie	injekční roztok
Tozinameran	Comirnaty <sup>®</sup>	lipidové nanočástice	aktivní imunizace k prevenci COVID-19	koncentrát pro injekční disperzi
Covid-19 messenger RNA vakcína	Spikevax <sup>®</sup>	lipidové nanočástice	aktivní imunizace k prevenci COVID-19	koncentrát pro infuzní disperzi

Zpracováno dle<sup>18,19,22,52–56</sup>

především z pevné lipidové složky, což mohou být triglyceridy, mastné kyseliny či vosky, a dále ze stabilizačních tenzidů, cholesterolu či fosfolipidu. Obsahovat mohou i PEGylované lipidy, což má za následek podobné benefity jako u lipozomů<sup>44,45</sup>. Příprava SLN je možná řadou homogenizačních způsobů, v poslední době se ale velká pozornost věnuje mikrofluidním technikám<sup>46</sup>. Díky svému složení mohou poskytovat zvýšenou stabilitu molekulám

založeným na RNA/DNA s následným transferem biomolekuly do cytoplazmy buňky, kde se pak může uplatnit její mechanismus účinku. Tato kombinace také v současnosti představuje jejich hlavní způsob využití<sup>47</sup>. V takovém případě je pro lepší navázání biologické molekuly používán kationický lipid. SLN ale dokážou zapouzdřit jak hydrofilní, tak i hydrofobní léčivo, a díky své lipofilitě jsou schopny pronikat i přes jinak těžce prostupné bariéry, jako

např. hematoencefalickou bariéru<sup>47,48</sup>. Mezi nevýhody se řadí nepředvídatelná tendence gelovatění, neočekávaná dynamika polymerních přechodů a vysoký „burst“ efekt (rychlejší uvolnění léčiva na počátku uvolňování léčiva)<sup>47</sup>. Také je potřeba pamatovat na odlišný profil distribuce do tkání ve srovnání s polymerními nanočásticemi a lipozomy, což je potřeba zohlednit i v rámci dané kombinace s léčivem<sup>49</sup>.

V případě SLN lze mluvit o nové lékové formě, protože na trh se dostala teprve v roce 2018, kdy FDA schválila léčivý přípravek Onpattro® (Patisiran), jakožto první lék s obsahem siRNA (small interfering RNA) na bázi SLN. Je indikován k léčbě hereditární transthyretinové amyloidózy, což je vzácné genetické onemocnění<sup>50</sup>. Následovalo schválení několika dalších preparátů, jejichž přehled uvádí tab. IV. Do širšího povědomí veřejnosti se pak dostaly především jako nosiče mRNA (messenger RNA) u vakcín proti COVID-19. Během vypuknutí koronavirové pandemie byly poměrně v krátké době vyvinuty a schváleny dvě SARS-CoV-2 mRNA vakcíny, Comirnaty® (Pfizer-BioNTech) a Spikevax® (Moderna)<sup>50</sup>. Představují tak možná počátek nové éry preventivní medicíny<sup>51</sup>.

## 6. Závěr

Nanočásticová léková forma otevírá nové obzory v mnoha různých aspektech farmakoterapie a poskytuje oproti samotným účinným látkám řadu výhod. Od 90. let minulého století je patrný nárůst klinických testů a nanočásticových přípravků schválených FDA či EMA. V současné době je na trhu k dispozici několik desítek preparátů na bázi nanočástic, které již tvoří nedílnou součást farmakoterapie některých specifických onemocnění. Zajímavé bude sledovat budoucí vývoj pevných lipidických nanočástic, které se v kombinaci s mRNA technologií vakcín ukázaly jako slibný nástroj pro zvládnání akutních epidemických situací. Zdali se ale prosadí i v rámci tradiční preventivní medicíny, ukáže teprve budoucnost. Svě místo si ale určitě udrží jako nosiče siRNA, což umožní otevřít nové možnosti farmakoterapie u řady závažných onemocnění.

*Práce vznikla za podpory MŠMT (Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy) OPVVV projekt "FIT" (Farmakologie, Imunoterapie, nanoToxicologie) CZ.02.1.01/0.0/0.0/15\_003/0000495.*

### Seznam zkratk

CMC	kritická micelární koncentrace
CQA	kritické atributy kvality
EMA	Evropská agentura pro léčivé přípravky (European Medicines Agency)
FDA	Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (Food and Drug Administration)
GUV	obří unilamelární vezikuly

LNP	lipidové nanočástice (lipid nanoparticles)
LUV	velké unilamelární vezikuly
MLV	multilamelární vezikuly
mRNA	mediátorová RNA (messenger RNA)
NLC	nanostrukturované lipidové nosiče (nanostructured lipid carriers)
PDLLA	kyselina poly-D,L-mléčná
PEG	polyethylenglykol
PLGA	kopolymer kyseliny mléčné a glykolové
PNP	polymerní nanočástice (polymeric nanoparticles)
RS	roztroušená skleróza
SARS-CoV-2	severe acute respiratory syndrome-related coronavirus
siRNA	small interfering RNA
SLN	pevné lipidové nanočástice (solid lipid nanoparticles)
SPARC protein	Secreted Protein Acidic Rich in Cysteine
SPC	souhrn údajů o přípravku
SUV	malé unilamelární vezikuly

### LITERATURA

- Mehnert W., Mäder K.: *Adv. Drug Delivery Rev.* 64, 83 (2012).
- Mühlebach S., Borchard G., Yildiz S.: *Nanomedicine* 10, 659 (2015).
- Bobo D., Robinson K. J., Islam J., Thurecht K. J., Corrie S. R.: *Pharm. Res.* 33, 2373 (2016).
- Duan Y., Dhar A., Patel C., Khimani M., Neogi S., Sharma P., Kumar N. S., Vekariya R. L.: *RSC Adv.* 10, 26777 (2020).
- Bazak R., Houry M., El Achy S., Hussein W., Refaat T.: *Mol. Clin. Oncol.* 2, 904 (2014).
- Xie J., Lee S., Chen X.: *Adv. Drug Delivery Rev.* 62, 1064 (2010).
- Patel J. K., Pathak Y. V. (ed.): *Emerging Technologies for Nanoparticle Manufacturing*. Springer, Cham 2021.
- Ilinskaya A. N., Dobrovolskaia M. A.: *Nanomedicine* 8, 773 (2013).
- Yetisgin A. A., Cetinel S., Zuvin M., Kosar A., Kutlu O.: *Molecules* 25, 2193 (2020).
- Crucho C. I., Barros M. T.: *Mater. Sci. Eng.* 80, 771 (2017).
- Mattei A., Li T. (ed.). *Pharmaceutical Crystals: Science And Engineering*. John Wiley & Sons, USA 2018.
- Lu Y., Li Y., Wu W.: *Acta Pharm. Sin. B* 6, 106 (2016).
- Kratochvíl B.: *Chem. Listy* 101, 3 (2007).
- Kratochvíl B.: *Chem. Listy* 104, 823 (2010).
- Junghanns J. U. A., Müller R. H.: *Int. J. Nanomedicine* 3, 295 (2008).
- Jarvis M., Krishnan V., Mitragotri S.: *Bioeng. Transl. Med.* 4, 5 (2019).
- Shegokar R., Müller R. H.: *Int. J. Pharm.* 399, 129 (2010).

18. [https://prehledy.sukl.cz/prehled\\_leciv.html#/](https://prehledy.sukl.cz/prehled_leciv.html#/), staženo 10. 5. 2023.
19. Abdellatif A. A., Alsowinea A. F.: *Nanotechnol. Rev.* 10, 1941 (2021).
20. Choi Y. H., Han H. K.: *J. Pharm. Investig.* 48, 43 (2018).
21. Gajdová J., Urbánek K.: *Interní medicína pro praxi* 15, 5 (2013).
22. Flühmann B., Ntai I., Borchard G., Simoens S., Mühlebach S.: *Eur. J. Pharm. Sci.* 128, 73 (2019).
23. Barakat N. S., Taleb D. A. B., Salehi A. S.: *J. Nanomed. Nanotechnol.* 4, 2 (2012).
24. Jordan A.: *Biomed Tech* 56, 1 (2011).
25. Khalid M., El-Sawy H. S.: *Int. J. Pharm.* 528, 675 (2017).
26. Kratochvíl B., Benešová E.: *Chem. Listy* 117, 319 (2023).
27. Pasut G., Veronese F. M.: *Prog. Polym. Sci.* 32, 933 (2007).
28. Gagliardi A., Giuliano E., Venkateswararao E., Fresta M., Bulotta S., Awasthi V., Cosco D.: *Front. Pharmacol.* 12, 601626 (2021).
29. Shi L., Zhang J., Zhao M., Tang S., Cheng X., Zhang W., Li W., Liu X., Peng H., Wang Q.: *Nanoscale* 13, 10748 (2021).
30. Suk J. S., Xu Q., Kim N., Hanes J., Ensign L. M.: *Adv. Drug Delivery Rev.* 99, 28 (2016).
31. Zhou Q., Zhang L., Yang T., Wu H.: *Int. J. Nanomed.* 13, 2921 (2018).
32. Patra J. K. a 11 spoluautorů: *J. Nanobiotechnol.* 16, 1 (2018).
33. Zhang K., Tang X., Zhang J., Lu W., Lin X., Zhang Y., Tian B., Yang H., He H.: *J. Controlled Release* 183, 77 (2014).
34. Hussein Y. H., Youssry M.: *Materials* 11, 688 (2018).
35. Gadekar V., Borade Y., Kannaujia S., Rajpoot K., Anup N., Tambe V., Kalia K., Tekade R. K.: *J. Controlled Release* 330, 372 (2021).
36. Verma D., Gulati N., Kaul S., Mukherjee S., Nagaich U.: *J. Pharmaceutics* 2018, 9285854 (2018).
37. Otagiri M., Chuang V. T. G. (ed.). *Albumin in Medicine: Pathological and Clinical Applications*. Springer, Singapore 2016.
38. Miele E., Spinelli G. P., Miele E., Tomao F., Tomao S.: *Int. J. Nanomed.* 4, 99 (2009).
39. Rezvantalab S., Drude N. I., Moraveji M. K., Güvener N., Koons E. K., Shi Y., Kiessling F.: *Front. Pharmacol.* 9, 1260 (2018).
40. Thi T. T. H., Suys E. J., Lee J. S., Nguyen D. H., Park K. D., Truong N. P.: *Vaccines* 9, 359 (2021).
41. Tenchov R., Bird R., Curtze A. E., Zhou Q.: *ACS Nano* 15, 16982 (2021).
42. Ahmad Z., Shah A., Siddiq M., Kraatz H. B.: *RSC Adv.* 4, 17028 (2014).
43. Fritze A., Hens F., Kimpfler A., Schubert R., Peschka-Süss R.: *Biochim. Biophys. Acta, Biomembr.* 1758, 1633 (2006).
44. Paliwal R., Paliwal S. R., Kenwat R., Kurmi B. D., Sahu M. K.: *Expert Opin. Ther. Pat.* 30, 179 (2020).
45. Gavas S., Quazi S., Karpiński T. M.: *Nanoscale Res. Lett.* 16, 173 (2021).
46. Ali M. S., Hooshmand N., El-Sayed M., Labouta H. I.: *ACS Applied Bio Materials* (2021). doi: 10.1021/acsabm.1c00732
47. Yadav N., Khatak S., Sara U. S.: *Int. J. Appl. Pharm.* 5, 8 (2013).
48. Lingayat V. J., Zarekar N. S., Shendge R. S.: *Nanosci. Nanotechnol. Res.* 4, 67 (2017).
49. Fonseca-Gomes J., Loureiro J. A., Tanqueiro S. R., Moura F. M., Ruivo P., Carvalho T., Sebastião A. M., Diógenes M. J., Pereira M. C.: *Int. J. Nanomed.* 15, 8609 (2020).
50. Suzuki Y., Ishihara H.: *Drug Metab. Pharmacokinet.* 41, 100424 (2021).
51. Vitiello A., Ferrara F.: *Inflammopharmacology* 29, 645 (2021).
52. Farjadian F., Ghasemi A., Gohari O., Roointan A., Karimi M., Hamblin M. R.: *Nanomedicine* 14, 93 (2019).
53. Velino C., Carella F., Adamiano A., Sanguinetti M., Vitali A., Catalucci D., Bugli F., Iafisco M.: *Front. Bioeng. Biotechnol.* 7, 406 (2019).
54. Cao H., Wang Y., Luan N., Liu C.: *Vaccines* 9, 310 (2021).
55. Abdel-Mageed H. M., AbuelEzz N. Z., Radwan R. A., Mohamed S. A.: *J. Microencapsul.* 38, 414 (2021).
56. Anselmo A. C., Mitragotri S.: *Bioeng. Transl. Med.* 6, e10246 (2021).

**E. Navrátilová Radinová<sup>a</sup>, E. Mašková<sup>b</sup>, K. Kubová<sup>a</sup>, and J. Vysloužil<sup>a</sup>** (<sup>a</sup>*Department of Pharmaceutical Technology, Faculty of Pharmacy, Masaryk University Brno*, <sup>b</sup>*Department of Pharmacology and Toxicology, Veterinary Research Institute*): **Nanoparticles as a Dosage Form in Practice**

Nanoparticles belong to a modern and developing group of drug delivery systems with great potential for further future use. To pharmacotherapy, it brings a number of advantages. The combination of their size, specific properties of used excipients and a suitable drug can result in a more targeted therapy for some serious diagnoses. However, potential adverse effects are also associated with the subcellular size of the pharmaceutical form, and

although research is being conducted with countless excipients and types of nanoparticles, only a small proportion of them have made it into clinical practice. This brief overview discusses these classes, it presents the basic characteristics, classification, and possible clinical use. The article also includes an up-to-date overview of representatives of individual nanoparticle drug delivery classes currently registered in the Czech Republic.

Keywords: nanoparticles, dosage form, polymeric nanoparticles, liposomes, nanocrystals

#### *Acknowledgements*

*This study was funded by the Ministry of Education, Youth and Sports OPVĚV PO1 project "FIT" (Pharmacology, Immunotherapy, nanoToxicology)  
CZ.02.1.01/0.0/0.0/15\_003/0000495.*



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.

## KULTIVACE POLÁRNÍCH MIKROŘAS V OTOČNÉM DESKOVÉM FOTOBIOREAKTORU

VOJTĚCH BĚLOHLAV<sup>a</sup>, TOMÁŠ JIROUT<sup>a</sup>, JOSEF ELSTER<sup>b,c</sup>, JIŘÍ LIŠKA<sup>c</sup>, LINDA NEDBALOVÁ<sup>c,d</sup>  
a JANA KVÍDEROVÁ<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup> Ústav procesní a zpracovatelské techniky, Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze, Technická 4, 160 00 Praha, <sup>b</sup> Centrum polární ekologie, Přírodovědecká fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Na Zlaté stoce 3, 370 05 České Budějovice, <sup>c</sup> Centrum pro algologii, Botanický ústav AV ČR, v.v.i., Dukelská 135, 379 01 Třeboň, <sup>d</sup> Katedra ekologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Viničná 7, 128 44 Praha, Česká republika  
vojtech.belohlav@fs.cvut.cz

Došlo 26.6.23, přijato 26.7.23.

S postupující urbanizací polárních oblastí roste poptávka po udržitelných technologiích, které jsou schopny přetvářet odpadní látky v produkty s vyšší přidanou hodnotou. Pro produkci mikrořasové biomasy, mohou být využity živiny obsažené v odpadních vodách, nebo oxid uhličitý ve spalínách. Kmeny mikrořas, kterým se podařilo adaptovat k extrémním klimatickým podmínkám polárních oblastí, se jeví jako vhodná alternativa ke konvenčním druhům průmyslově kultivovaných mikrořas. Možné uplatnění technologií pro produkci polárních mikrořas je však také v oblastech střední a východní Evropy, kde nejsou klimatické podmínky příznivé pro celoroční kultivaci konvenčních mikrořas. Pro izolované druhy polárních mikrořas byl navržen otočný deskový fotobioreaktor, který je schopen se natáčet podle aktuální polohy slunce. Otočný fotobioreaktor je tak schopen efektivně využívat dopadající sluneční záření, které je pro růst mikrořas klíčové. Navržená koncepce otočného fotobioreaktoru byla úspěšně testována v extrémních klimatických podmínkách na České arktické stanici na Svalbardu.

Klíčová slova: mikrořasy, fotobioreaktor, Arktida, polární mikrořasy

### Obsah

1. Úvod
2. Kultivace mikrořas
  - 2.1. Druhy mikrořas a jejich využití
  - 2.2. Technologie kultivace
3. Polární mikrořasy
  - 3.1. Vlastnosti polárních mikrořas
  - 3.2. Fotobioreaktor na Svalbardu
4. Závěr

### 1. Úvod

Mikrořasy patří do široké skupiny jednoduchých vodních organismů, které jsou schopny fotosyntézou přeměňovat světelné záření, oxid uhličitý a živiny na biomasu stejným způsobem jako cévnaté rostliny<sup>1,2</sup>. V porovnání s cévnatými rostlinami však mohou růst výrazně rychleji, a to v nejrůznějších vodních prostředích pouze se základními požadavky na živiny<sup>3</sup>. Vynikající růstové a obsahové vlastnosti řas podněcují výzkum, technologický vývoj i realizaci jejich produkce. Mikrořasy lze využít k výrobě biopaliv, hnojiv, doplňků stravy, krmiv nebo produktů pro kosmetický či farmaceutický průmysl<sup>4,5</sup>. Na principu cir-

kulární ekonomiky jsou mikrořasy využívány také v konceptech biorafinérií pro čištění odpadních vod<sup>6</sup> nebo zachytávání odpadního CO<sub>2</sub> ze spalin průmyslových podniků<sup>7</sup>. K řízenému růstu mikrořas se využívají různé kultivační systémy včetně fotobioreaktorů. Přenos technických řešení a experimentálních výsledků z laboratorní a poloprovozních zařízení do provozního komerčního měřítka není zatím příliš úspěšný, zvláště kvůli vysokým investičním a provozním nákladům, které jsou výrazně ovlivněny lokálními podmínkami místa instalace. Většina kultivačních technologií dosahuje komerčního uplatnění pouze v lokalitách s větším množstvím slunečných hodin a přívětivějšími teplotami v průběhu roku (např. Španělsko, Itálie).

Proto je často využití těchto technologií na území České republiky velmi komplikované až nerealizovatelné, často i v médiích a konferenčních diskuzích nezasloužené kritizované až odsuzované. Jedna z možností přiblížení k efektivnímu a ekonomicky smysluplnému využití kultivačních systémů pro produkci mikrořas může být využití kmenů polárních mikrořas, které se dokázaly adaptovat na extrémní klimatické podmínky polárních oblastí. Přizpůsobení kultivačních systémů těmto druhům mikrořas by mohlo následně umožnit uplatnění v průmyslovém měřítku a dosáhnout tak komerční úrovně.

## 2. Kultivace mikrořas

Kultivace řas je řízena nároky jednotlivých druhů a složením biomasy, technologickými parametry kultivace a oblastmi využití produktů kultivace.

### 2.1. Druhy mikrořas a jejich využití

Existuje mnoho různých druhů mikrořas, které se liší svou velikostí, tvarem, složením pigmentů a dalšími vlastnostmi. Pod pojem mikrořasy se v aplikované algologii obvykle zahrnují jak prokaryotické sinice, tak eukaryotické řasy z mnoha fylogenetických linií; mezi nejdůležitější skupiny patří zelené řasy (*Chlorophyta*), ruduchy (*Rhodophyta*) a hnědé řasy zahrnující například rozsivky (*Bacillariophyta*)<sup>8</sup>. Většina doposud publikovaných studií, které se věnují průmyslovému využití mikrořas, se zaměřuje na fotosyntetické druhy mikrořas. Existují však také mixotrofní nebo heterotrofní druhy.

V dnešní době je pozornost směřována na technologie zajišťující energetickou soběstačnost a uhlíkovou neutralitu. V předešlých letech bylo cílem nahrazení fosilních paliv biopalivy první, resp. druhé generace. S příchodem kultivačních systémů pro produkci mikrořas (biomasa třetí generace) se výzkum a vývoj zaměřoval také na možnost využití těchto organismů pro produkci kapalných biopaliv<sup>9</sup>. Vysoké investiční náklady na výstavbu inovativních kultivačních systémů a vysoké provozní či údržbové náklady byly však důvodem vysoké ceny vyprodukované mikrořasové biomasy. S ohledem na relativně stále ještě nízkou cenu fosilních paliv a vysokou cenu biopaliv z mikrořas však nikdy nedošlo k plné komercializaci a postupně se od těchto záměrů ustupovalo. Jako vhodnější se jeví využití mikrořas pro produkty s vyšší přidanou hodnotou. Vysoké nutriční hodnoty mikrořas, založené zejména na vysokém obsahu bílkovin a zajímavém lipidovém profilu, zvyšují možnost uplatnění v potravinářském průmyslu<sup>10</sup>. Přítomnost bioaktivních látek, jako jsou např. karotenoidy, fykobiliny, polysacharidy, vitaminy a steroly, příznivě ovlivňuje imunitní reakce, zlepšuje plodnost a kontrolu hmotnosti. Mikrořasy mohou být využity také ve formě krmiva pro ryby a jiné vodní živočichy<sup>5</sup>. Látky obsažené v mikrořasách jsou využívány také v kosmetických přípravcích či pro produkci barviv<sup>11</sup>. Použití pro potravinářské či farmaceutické účely je však v dnešní době z legislativních důvodů limitováno pouze pro několik kmenů mikrořas. Také kultivační technologie a zařízení musí splňovat náročné bezpečnostní předpisy. Použití kultivačních systémů, tzv. fotobioreaktorů, je často využíváno také v konceptech biorafinérií, které se na základě principu cirkulární ekonomiky pokouší přetvářet odpadní látky v produkty s vyšší přidanou hodnotou. Oxid uhličitý obsažený v okolním vzduchu nebo odpadních spalinách může být ve fotobioreaktoru přeměněn v mikrořasovou biomasu, kterou lze následně využít např. jako biohnojivo v zemědělství<sup>12</sup>. Mikrořasy nabízejí také udržitelnou alternativu k technologiím čištění odpadních vod<sup>13</sup>. Mikrořasy jsou v rámci biologického čištění schop-

ny odstraňovat živiny obsažené v odpadní vodě a přeměňovat je v biomasu. Vyprodukovaný kyslík vznikající na základě probíhající fotosyntézy může být použit pro separaci organických či anorganických látek z odpadní vody. Vyprodukované bubliny kyslíku na principu procesu flotace vynášejí tyto látky k volné hladině kultivačního média, odkud mohou být dále separovány<sup>14</sup>.

### 2.2. Technologie kultivace

Kultivační systémy lze rozdělit na tři základní skupiny dle konstrukčního uspořádání: otevřené kultivační systémy, uzavřené fotobioreaktory a systémy kombinující specifika otevřených a uzavřených systémů. Otevřené nádrže, průtočné kanály nebo nakloněné tenkovrstvé systémy jsou nejčastěji využívanými otevřenými kultivačními systémy. V uzavřených fotobioreaktorech je kultivační médium odděleno od okolního prostředí pomocí transparentních ploch. Výhodou uzavřených systémů je možnost snáze kontrolovat provozní podmínky, což umožňuje eliminovat kontaminaci zpracovávaného kultivačního média. Ve studii Bělohav a spol.<sup>15</sup> byly popsány různé koncepty kultivačních systémů a jejich specifika. Kultivace mikrořas zahrnuje několik faktorů, které ovlivňují růst a produkci těchto mikroorganismů. Mezi klíčové parametry, které zajišťují správný růst fotosyntetických mikrořas, patří světelné záření (sluneční, umělé), oxid uhličitý, živiny (zejména dusík, fosfor, draslík a hořčík) a vhodná teplota kultivačního média. Různé druhy mikrořas mají odlišné nároky na intenzitu a spektrum světelného záření<sup>9</sup>. Koncentrace oxidu uhličitého a živin v kultivačním médiu může výrazně ovlivnit rychlost růstu mikrořas, které je možné ve fotobioreaktorech dosáhnout<sup>16,17</sup>. Mikrořasy jsou schopny růst v poměrně širokém pásmu teplot kultivačního média. Pro nejrozšířenější mikrořasy (*Chlorella*) se nejčastěji uvádí rozsah kultivačních teplot od 15 do 40 °C jako optimální pro růst. Některé druhy mikrořas (*Phaeodactylum*) jsou však schopny růst pouze v úzkém rozsahu teplot od 20 do 25 °C (cit.<sup>18</sup>). Optimální teplota pro kultivaci většiny druhů mikrořas výrazně limituje dobu provozu kultivačních systémů. Nižší nebo vyšší teploty mohou způsobit zamezení růstu a následné znehodnocení kultivované kultury mikrořas vlivem zahnívání<sup>19</sup>. V uzavřených kultivačních systémech je možné teplotu kultivace řídit pomocí vestavěných tepelných výměníků, případně je možné upravovat tepelné podmínky prostoru, kde je fotobioreaktor instalován. V otevřených systémech je však teplota kultivace přímo ovlivněna lokálními klimatickými podmínkami. S ohledem na průměrné denní teploty v České republice, které přesahují hranici 15 °C pouze v letních měsících přibližně od června do srpna<sup>28</sup>, je kultivace mikrořas ve venkovním prostředí značně limitována. Při teplotách nižších než 15 °C funguje proces kultivace neefektivně a celkové výtěžnosti mikrořas jsou velmi malé<sup>20</sup>. Požadavky na zmíněné provozní podmínky se výrazně liší dle kultivovaného druhu mikrořas a je tedy potřeba vždy citlivě volit vhodný kultivační systém, v kterém lze zajistit odpovídající kultivační podmínky.



### 3. Polární mikrořasy

Ve vyšších zeměpisných šířkách je s ohledem na optimální provozní parametry konvenčních mikrořas velmi komplikované dosáhnout efektivní kultivace v poloprovozním či průmyslovém měřítku. Kultivace je často limitována pouze na krátké letní období, kdy jsou teploty a intenzity slunečního záření dostatečné pro efektivní růst mikrořas. V opačném případě je nutné fotobioreaktory doplnit o výměníky tepla, které jsou schopny udržovat teplotu kultivačního média na požadovaných teplotních hladinách. V některých případech je možné využít také umělého osvětlování fotobioreaktorů<sup>21</sup>. Nutnost ohřevu kultivačního média nebo umělého osvětlování však v době rostoucích cen energií výrazně navyšuje provozní náklady, což v podstatě zamezuje dalšímu komerčnímu uplatnění<sup>20</sup>. Pod teplotním optimem se rychlost metabolismu mikrořas s klesající teplotou snižuje.

#### 3.1. Vlastnosti polárních mikrořas

Výzkumné aktivity prokázaly, že existují druhy mikrořas, které jsou schopny se adaptovat k nízkým provozním teplotám a zmírnit tak jejich negativní vliv na účinnost probíhajících bioprocésů<sup>22</sup>. Mikroorganismy vyskytující se trvale v chladných klimatických podmínkách se vyznačují řadou fyziologických adaptací, což umožňuje dosáhnout efektivního růstu i při extrémně nízkých teplotách. Jednou z těchto adaptací je například zvýšený výskyt polynenasycených mastných kyselin v lipidech<sup>23</sup>.

Ze vzorků pocházejících z obou polárních oblastí a severských zemí byly izolovány kmeny mikrořas, které jsou schopny odolávat extrémním klimatickým podmínkám (sbírka fototrofních mikroorganismů v Botanickém ústavu AV ČR v Třeboni udržuje kolem 400 polárních kmenů sinic a řas). Polární mikrořasy jsou schopny růst při teplotách blížících se bodu mrazu. Vedle nízké teploty kultivace jsou schopny využívat i nízké intenzity dopadajícího slunečního záření<sup>24</sup>. Také tyto kmeny polárních mi-

krořas jsou schopny dosahovat vysokých produkcí cenných látek, např. polynenasycené mastné kyseliny, antioxidanty, karotenoidy nebo fenolové sloučeniny a další bioaktivní látky<sup>25</sup>. Studie prokázaly, že je možné dosahovat srovnatelných výtěžností mikrořas jako v systémech kultivujících konvenční kmeny mikrořas při teplotách nad 20 °C (cit.<sup>19,23</sup>). Vedle použití pro potravinové doplňky nebo krmivo je však možné využít polární mikrořasy také v oblasti čištění odpadních vod<sup>24</sup>. S ohledem na zmíněné možnosti využití mikrořas mohou být fotobioreaktory jedním z klíčových zařízení při urbanizaci Arktidy, což je v současné době jeden z hlavních směrů ve výzkumu v arktických zemích<sup>29</sup>.

Výrazný potenciál má ovšem také využití polárních mikrořas v oblastech střední Evropy, konkrétně např. České republiky. Polární mikrořasy by mohly v zimních měsících, kdy průměrné teploty klesají k bodu mrazu, nahradit konvenční mikrořasy a prodloužit tak celkovou dobu kultivační kampaně. Prodloužení doby kultivace a s tím spojené navýšení produkce mikrořas by pomohlo vylepšit celkovou ekonomickou bilanci kultivačních systémů a přiblížit tak proces kultivace komerčnímu průmyslovému uplatnění.

#### 3.2. Fotobioreaktor na Svalbardu

Při návrhu technologie pro kultivaci polárních mikrořas byl kladen důraz na přizpůsobení koncepce fotobioreaktoru klimatickým podmínkám a vnějším vlivům (např. prašnost, vlhkost) Svalbardu. Česká arktická výzkumná stanice Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích se nachází na souostroví Svalbard (obr. 1), v nejseverněji položeném městě na světě Longyearbyen (obr. 2).

Na této stanici byl navržený prototyp fotobioreaktoru testován v průběhu celého polárního léta od května do září roku 2022. S ohledem na požadavky na nízké zástavbové nároky a možnosti snadné kontroly provozních parametrů byla vybrána desková konstrukce fotobioreaktoru. V letních měsících od května do srpna je zde nepřetržitě



Obr. 1. Longyearbyen na Svalbardu<sup>30</sup>

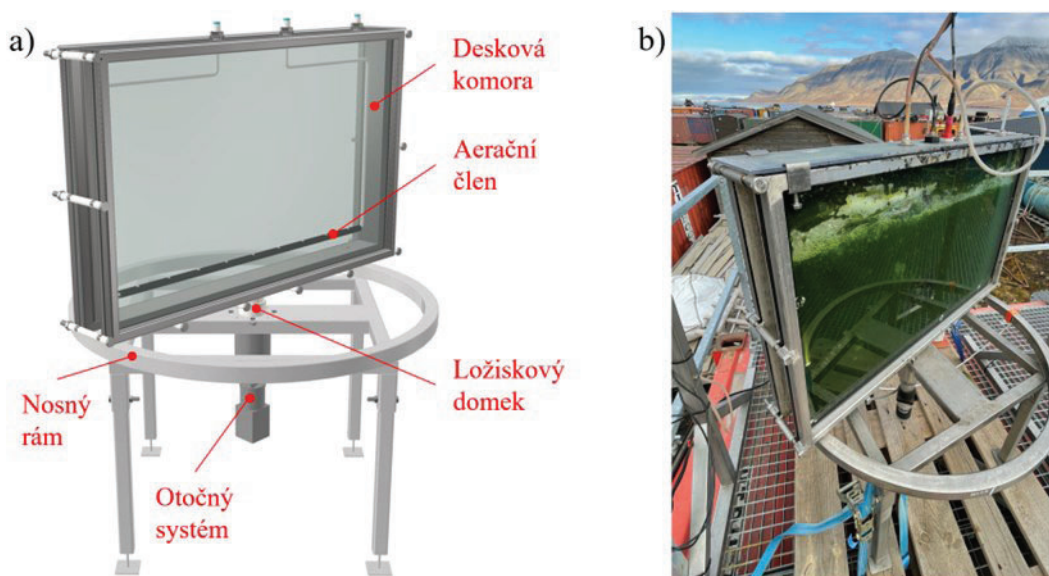


Obr. 2. Česká arktická stanice v Longyearbyenu

denní svit. Jako v přímořské oblasti je zde však poměrně silná oblačnost, což způsobuje, že množství hodin slunečního svitu (suma radiace) je velice podobné jako v letních měsících v České republice. Při konstrukci deskového fotobioreaktoru bylo tedy zásadním úkolem maximalizovat využití slunečního svitu pro ozařování buněk polárních mikrořas. Slegers a spol.<sup>26</sup> ve své studii popisuje redukci dopadajícího slunečního záření od transparentních ploch fotobioreaktoru. Část světelného záření, které nedopadá kolmo na transparentní plochy se odrazí a část záření prochází skrz transparentní stěnu do vrstvy kultivačního média. Proto byla konstrukce deskového fotobioreaktoru navržena jako otočná. Cílem bylo navrhnout automatizovaný rotační mechanismus, který by umožňoval natáčení deskové komory fotobioreaktoru podle pohybu slunce. Sluneční paprsky by tak byly v průběhu celého dne směro-

vány kolmo k transparentní ploše deskového fotobioreaktoru. Vysoká prašnost v blízkém okolí arktické stanice způsobená končící těžbou uhlí byla dalším faktorem, který bylo potřeba brát v potaz při konstrukci otočného fotobioreaktoru. Všechny otočné části musely být z tohoto důvodu uzpůsobeny tak, aby v nich nedocházelo ke vstupu jemných částic.

Pro účely prvotních kultivačních testů v extrémních klimatických podmínkách byl navržen otočný deskový fotobioreaktor, který vznikl ve spolupráci Botanického ústavu AV ČR v Třeboni, Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích – Centra polární ekologie a Českého vysokého učení technického v Praze, Fakulty strojní – Ústavu procesní a zpracovatelské techniky (obr. 3). Otočný deskový fotobioreaktor se skládá ze tří klíčových částí: desková komora, otočný systém a nosný rám.



Obr. 3. Otočný deskový fotobioreaktor; a) 3D model, b) testovací provoz na České arktické stanici

Desková komora je tvořena dvojicí transparentních skleněných desek tloušťky 10 mm, které jsou pomocí stahovacích rámu přichyceny ke svařenci nerezových U-profilů. Šířka profilů vymezuje vzájemnou vzdálenost transparentních desek, která je 60 mm. Obě transparentní desky (šířka 863 mm a výška 532 mm) jsou po obvodu opatřeny plochým těsněním a staženy šrouby k nerezovým profilům. Horní část komory je uzavřena odnímatelnou PVC deskou, v které jsou umístěny průchozí hrdla pro měřicí sondy a přichycení aeračního členu. Celkový objem deskové komory je téměř 28 litrů. S ohledem na zadrž provzdušňovacího plynu v průběhu kultivace je maximální objem zpracovávaného kultivačního média pouze 20 litrů. Poměr ozářené transparentní plochy fotobioreaktoru a objemu zpracovávaného kultivačního média je  $46 \text{ m}^{-1}$ . Obecně je cílem dosáhnout co nejvyšších hodnot tohoto poměru, neboť čím větší poměr je, tím lze ve fotobioreaktoru dosáhnout vyšších koncentrací a objemových produkcí mikrořas<sup>27</sup>. Ve spodní části deskové komory je připevněna hřídel, která je uložena v ložiskovém domku nosného rámu. Nosný rám je tvořen prstencem, po jehož obvodu jsou umístěny čtyři stojny, které jsou vzájemně vzdáleny 565 mm. Tento rozestup zajišťuje stabilitu celého fotobioreaktoru a odolnost vůči vnějším vlivům (nárazy větru, neopatrná manipulace při údržbě). Ve střední části nosného rámu je přivařen ložiskový domek tvořený dvojicí ložisek. Radiálně axiální ložisko zajišťuje usazení deskové komory v nosném rámu a přídavné radiální ložisko napomáhá celkové stabilitě komory při jejím otáčení. Rozměry nosného rámu definují celkovou zastavěnou plochu otočného fotobioreaktoru, která je  $0,5 \text{ m}^2$ . Hřídel deskové komory je pomocí spojky propojena s otočným systémem. Otočný systém je tvořen krokovým elektromotorem ESS 59-3 (Phytron GmbH, Německo) s vestavěnou planetovou převodovkou, která svým převodovým poměrem 100 zajišťuje pomalé otáčení deskové komory. Krokový elektromotor je certifikován pro použití v extrémních podmínkách (teploty  $-40$  až  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ , vlhkost okolního vzduchu až 95 %). Digitální ovladač propojený s elektromotorem nastavuje dle aktuální polohy instalace fotobioreaktoru a času přesnou polohu deskové komory. Digitální ovladač s instalovanou knihovnou SolTrack dokáže v závislosti na aktuální poloze slunce přesně nastavit úhel otočení deskové komory tak, aby dopadající sluneční záření vždy směřovalo kolmo na transparentní plochy fotobioreaktoru.

Po skončení prvotní dlouhodobé kultivační kampaně (obr. 2b), která probíhala od června do srpna roku 2022, byla konstrukce otočného deskového fotobioreaktoru podrobena kontrole opotřebení a funkčnosti všech prvků. Po rozmontování všech částí fotobioreaktoru včetně ložiskového domku nebylo shledáno žádné zásadní opotřebení rotačních součástí. Na základě prvotních vyhodnocení výsledků z kultivace mikrořas bylo upraveno naprogramování digitálního ovladače, který umožňuje odklonit deskovou komoru fotobioreaktoru od přímého slunečního záření ve chvíli, kdy je intenzita světelného záření příliš vysoká a mohlo by tak docházet k fotoinhibici kultivovaného kmenu mikrořas. Navržená koncepce otočného fotobioreaktoru

a jeho technické řešení je chráněno užitným vzorem CZ 36383 U1. Součástí dalšího technického vývoje bude vytvoření metodologie zvětšování měřítka fotobioreaktoru do poloprovazního, případně průmyslového měřítka.

#### 4. Závěr

Podářilo se izolovat kmeny polárních mikrořas, které jsou adaptované na extrémní klimatické podmínky polárních oblastí. Jedná se zejména o nízké teploty blízké se bodu mrazu a nízké intenzity dopadajícího slunečního záření. Při těchto podmínkách jsou polární mikrořasy schopny produkovat cenné látky využitelné v potravinářském, chemickém či farmaceutickém průmyslu. Za účelem výzkumu vlivu provozních podmínek na růst polárních mikrořas byl navržen a zkonstruován otočný deskový fotobioreaktor, který byl instalován na České arktické stanici na Svalbardu. Současné výzkumné aktivity jsou směřovány pouze na proces kultivace. Využití vyprodukovaných mikrořas pro výrobu konkrétních produktů není v současné době uvažováno. Do budoucna je však plánováno využití fotobioreaktorů v polárních oblastech zejména pro čištění odpadních vod a spalin. Díky otočnému mechanismu je navržený fotobioreaktor schopen v průběhu polárního dne nepřetržitě sledovat pohyb slunce a využívat tak maximálně potenciál slunečního záření pro růst mikrořas. Slibné prvotní výsledky kultivační kampaně prokázaly vhodnost použití navrženého fotobioreaktoru. Cílem další práce by měl být návrh metodologie zvětšování měřítka, která by přiblížila tyto kultivační systémy průmyslovému uplatnění.

*Tento výzkum byl podpořen z projektu OP VVV č. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_019/0000753 „Centrum výzkumu nízkouhlíkových energetických technologií“. Tento výzkum byl podpořen výzkumným záměrem BÚ AV ČR č. RVO67985939. Tento výzkum byl podpořen z projektu MŠMT INTER-EXCELLENCE LTAIN19139.*

#### LITERATURA

1. Singh. D. V., Bhat R. A., Upadhyay A. K., Singh R., Singh D. P.: Environ. Technol. Innov. 21, 101340 (2021).
2. Milano J., Ong H. C., Masjuki H. H., Chong W. T., Lam M. K., Loh P. K., Vellayan V.: Renew. Sust. Energ. Rev. 58, 180 (2016).
3. Aliyu A., Lee J. G. M., Harvey A. P.: Bioresour. Technol. Rep. 14, 100676 (2021).
4. Okeke E. S., Ejeromedoghene O., Okoye C. O., Ezeorba T. P. C., Nyaruaba R., Ikechukwu C. K., Oladipo A., Orege J. I.: Energy Convers. Manage.: X 16, 100323 (2022).
5. Ferreira de Oliveira A. P., Bragotto A. P. A.: Future Foods 6, 100157 (2022).
6. Chen J., Dai L., Mataya D., Cobb K., Chen P., Ruan R.: Bioresour. Technol. 366, 128188 (2022).

7. Ighalo J. O., Dulta K., Kurniawan S. B., Omoarukhe F. O., Ewuzie U., Eshiemogie A. U., Abdullah S. R. S.: *Clean. Chem. Eng.* **3**, 100044 (2022).
8. Khan M. I., Shin J. H., Kim J. D.: *Microb. Cell Fact.* **17**, 1 (2018).
9. Mata T. M., Martins A. A., Caetano N. S.: *Renew. Sust. Energ. Rev.* **14**, 217 (2010).
10. Martínez-Sanz M., Garrido-Fernández A., Mijlkovic A., Krona A., Martínez-Abad A., Coll-Marqués J. M., López-Rubio A., Lopez-Sanchez P.: *Algal Res.* **49**, 101960 (2020).
11. Ruiz J., Olivieri G., de Vree J., Bosma R., Willems P., Reith J. H., Eppink M. H. M., Kleinegris D. M. M., Wijffels R. H., Barbosa M. J.: *Energy Environ. Sci.* **24**, 405 (2016).
12. Zhuang L. L., Li M., Hao Ngo H.: *Bioresour. Technol.* **308**, 123320 (2020).
13. Hussain F., Shah S. Z., Ahmad H., Abubshait S. A., Abubshait H. A., Laref A., Manikandan A., Kusuma H. S., Iqbal M.: *Renew. Sust. Energ. Rev.* **137**, 110603 (2021).
14. Goswami R. K., Mehariya S., Verma P., Lavecchia R., Zuurro A.: *J. Water Process Eng.* **40**, 101747 (2021).
15. Bělohav V., Jirout T., Krátký L.: *Chem. Listy* **112**, 183 (2018).
16. Kunjapur A. M., Eldridge R. B.: *Ind. Eng. Chem. Res.* **49**, 3516 (2010).
17. Wang B., Lan C. Q., Horsman M.: *Biotechnol. Adv.* **30**, 904 (2012).
18. Masojídek J., Torzillo G.: *Ref. Module Earth Syst. Environ. Sci. I* (2014).
19. Cheregi O., Ekendahl S., Engelbrektsson J., Strömberg N., Godhe A., Spetea C.: *Physiol. Plant.* **166**, 438 (2019).
20. Moody J. W., McGinty C. M., Quinn J. C.: *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **111**, 8691 (2014).
21. Krátký L., Jirout T., Bělohav V.: *Int. J. Environ. Sci. Technol.* (2023), <https://doi.org/10.1007/s13762-023-04804-0>.
22. Lyon B. R., Mock T.: *Biology* **3**, 56 (2014).
23. Hulatt C. J., Berecz O., Egeland E. S., Wijffels R. H., Kiron V.: *Bioresour. Technol.* **235**, 338 (2017).
24. Ferro L., Gentili F. G., Funk C.: *Algal Res.* **32**, 44 (2018).
25. León-Vaz A., León R., Vigará J., Funk C.: *New Biotechnol.* **73**, 1 (2023).
26. Slegers P. M., Wijffels R. H., van Straten G., van Boxtel A. J. B.: *Appl. Energy* **88**, 3342 (2011).
27. Lee Y. K., v knize: *Algae Biotechnology* (Bux F., Chisti Y., ed.), kap. 1, str. 1–19. Springer, Cham 2016.
28. <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>, staženo 9. 3. 2023.
29. [https://www.irozhlaz.cz/veda-technologie/priroda/arktida-klimaticka-zmena-oteplovani-osidleni-clovek-josef-elster-vyzkum\\_2303111220\\_kac](https://www.irozhlaz.cz/veda-technologie/priroda/arktida-klimaticka-zmena-oteplovani-osidleni-clovek-josef-elster-vyzkum_2303111220_kac), staženo 7. 6. 2023.
30. <https://mapy.cz/zakladni?x=26.0551795&y=68.5181768&z=4>, staženo 30. 3. 2023.

**V. Bělohav<sup>a</sup>, T. Jirout<sup>a</sup>, J. Elster<sup>b,c</sup>, J. Liška<sup>c</sup>, L. Nedbalová<sup>c,d</sup>, and J. Kvíderová<sup>b,c</sup>** (<sup>a</sup> Department of Process Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University in Prague, Prague, <sup>b</sup> Centre for polar ecology, Faculty of Science, University of South Bohemia in České Budějovice, České Budějovice, <sup>c</sup> Centre for Phycology, Institute of Botany CAS, Třeboň, <sup>d</sup> Department of Ecology, Faculty of Science, Charles University, Prague, Czech Republic): **Cultivation of Polar Microalgae in a Rotating Flat-Panel Photobioreactor**

With the increasing urbanisation of the polar regions, the demand for sustainable technologies that are able to transform waste materials into high-value products is growing. For the production of microalgal biomass, nutrients contained in wastewater or carbon dioxide in flue gas can be used. Microalgae strains that have adapted to the extreme climatic conditions of polar regions appear to be a suitable alternative to conventional industrially cultivated microalgae species. Nevertheless, technologies for the production of polar microalgae can also be applied in areas of central and eastern Europe where climatic conditions are not suitable for year-round cultivation of conventional microalgae. For isolated polar microalgae species, a photobioreactor able to rotate according to the current position of the sun has been designed. The rotating flat-panel photobioreactor is able to efficiently use the incident solar radiation, which is crucial for microalgae growth. The designed concept of the rotating photobioreactor has been successfully tested in extreme climatic conditions at the Czech Arctic Research Station in Svalbard.

**Keywords:** microalgae, photobioreactor, Arctic, polar microalgae, sustainable technologies



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.

## KOVALENTNĚ FUNKCIONALIZOVANÉ GRAFENOVÉ DERIVÁTY JAKO AKTIVNÍ ELEKTRODOVÉ MATERIÁLY PRO SUPERKONDENZÁTORY

VERONIKA ŠEDAJOVÁ<sup>a</sup>, ARISTEIDIS BAKANDRITSOS<sup>a,b</sup> a MICHAL OTYEPKA<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup> Regionální centrum pokročilých technologií a materiálů, Český institut výzkumu a pokročilých technologií (CATRIN), Univerzita Palackého v Olomouci, Šlechtitelů 27, 783 71 Olomouc, <sup>b</sup> Centrum nanotechnologií, Centrum energetických a environmentálních technologií, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, <sup>c</sup> IT4Innovations, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika  
michal.otyepka@upol.cz

Došlo 17.5.23, přijato 7.8.23.

Výzkum materiálů pro elektrody superkondenzátorů nabývá v posledních letech rychle na významu vzhledem k vysoké poptávce po přenosných zařízeních pro ukládání energie s dlouhou životností, vysokým výkonem a šetrností k životnímu prostředí. Grafenové deriváty či jejich hybridy a kompozity jsou velmi slibnými kandidáty na splnění těchto požadavků. Článek shrnuje pokrok ve vývoji derivátů grafenu se zaměřením na materiály odvozenými od fluorografenu. Tyto kovalentní deriváty grafenu tvoří progresivní třídu vysoce účinných materiálů s velmi dobře přizpůsobitelnými strukturálními a fyzikálně-chemickými vlastnostmi. Lze je navíc optimalizovat tak, aby splňovaly konkrétní požadavky na uchování náboje, a tím zlepšovaly vlastnosti nových součástek pro ukládání energie.

Klíčová slova: superkondenzátor, grafen, fluorografen, derivát, energie

### Obsah

1. Úvod
2. Grafen
  - 2.1. Grafenové deriváty
  - 2.2. Fluorografen
3. Testování elektrodových materiálů pro superkondenzátory
4. Využití grafenových derivátů v superkondenzátorech
5. Závěr

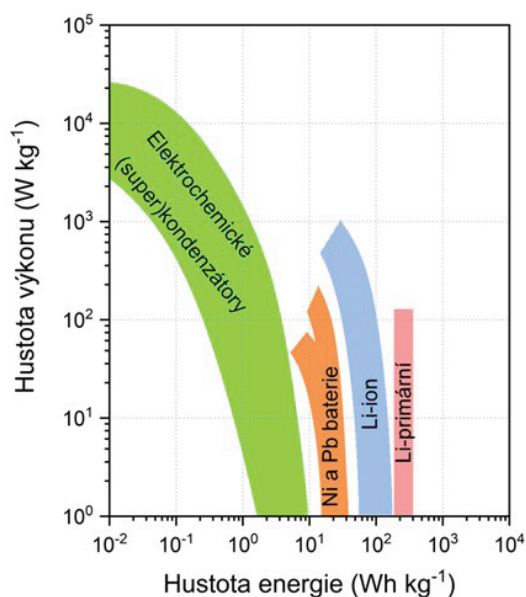
### 1. Úvod

Superkondenzátory (SK) jsou zařízení užívaná k ukládání elektrické energie a patří do rodiny elektrochemických kondenzátorů. Hlavním mechanismem, který se odehrává na rozhraní mezi elektrodovým materiálem a kapalným či pevným elektrolytem, je vytvoření rozdílu potenciálů selektivními adsorpčními procesy iontů, díky čemuž může součástka ukládat energii<sup>1</sup>. Ionty se adsorbují během nabíjení na elektrodě a vytvářejí dvojvrstvu, která vyrovnává nahromadění elektrického náboje na příslušné elektrodě. Tento mechanismus ukládání energie nezahrnuje pomalou redoxní chemickou reakci jako v případě baterií, a proto se SK ve srovnání s bateriemi nabíjejí i vybíjejí velmi rychle<sup>2,3</sup>. Díky tomu mohou také velmi rychle dodávat uloženou energii, čímž se SK řadí mezi zařízení s vysokým výkonem<sup>4,5</sup> (viz elektrochemické (super)

kondenzátory, obr. 1). V posledních letech se pozornost věnuje také novým materiálům, které jsou schopny ukládat energii nejen v elektrické dvojvrstvě, jak je diskutováno výše, ale také ve formě redoxních (Faradaických) procesů. Tyto tzv. pseudokapacitní materiály rozmazávají ostrou hranici mezi dvojvrstevnými kondenzátory a bateriemi<sup>1</sup>.

Díky výše popsaným procesům, které zajišťují ukládání náboje uvnitř SK, je mechanismus nabíjení a vybíjení téměř plně reverzibilní a SK vydrží až miliony nabíjecích/vybíjecích cyklů bez pozorovatelného poklesu množství energie, jež mohou akumulovat<sup>6,7</sup>. Tyto výhody SK jsou kompenzovány i nedostatky, jako jsou např. nižší celkové množství uložené energie (hustota energie) ve srovnání s nabíjecími bateriemi (obr. 1) či rychlé samovybití<sup>8</sup>. Hustotu energie vedle elektrody ovlivňuje i použitý elektrolyt, který určuje operační potenciálové okno. V případě elektrolytů založených na vodných roztocích je to obvykle ~1 V, u iontových kapalin dosahuje až ~4 V (cit.<sup>9</sup>).

SK se v praxi používají například pro ochranu CMOS (z anglického Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) obvodů či v kombinaci s bateriemi při rekuperaci energie a zájem o ně rychle vzrůstá. Na trhu elektrických součástek si vydobily důležité postavení díky jejich odolnosti, bezpečnosti, nezávislosti na lithiu a rychlému nabíjení/vybíjení. Stále však existuje prostor pro jejich další zlepšení, zejména pro zvýšení množství uložené energie na jednotku hmotnosti (tedy gravimetrické hustoty energie) či objemu (volumetrické hustoty energie). Záro-



Obr. 1. Ragonův diagram srovnávající hustotu energie a hustotu výkonu v různých typech zařízení pro ukládání elektrické energie. Adaptováno z citací<sup>6,7</sup>

veň je nutné zaručit, aby SK s vyšší hustotou energie neztratily vysoký výkon, který je pro ně typický a představuje jejich hlavní výhodu oproti bateriím, a byly cenově dostupné. Výzkum v oblasti SK se proto věnuje hledání nových elektrodových materiálů umožňujících současně zvyšování hustoty energie a výkonu. Vzhledem k tomu, že pohyblivost iontů a tvorba dvojvrstvy u většiny elektrodových materiálů zásadně ovlivňují množství uložené energie, využívají se materiály s velkým povrchem<sup>10,11</sup>. Dalším důležitým parametrem je hmotnost konečného zařízení. Proto se cílí zejména na elektricky vodivé materiály složené z lehkých prvků, jako např. různé pěny na bázi uhlíku, aktivní uhlí a grafenové materiály. Navíc se tyto materiály i díky jejich velkým plochám povrchu výborně osvědčily jako elektrodové materiály pro SK<sup>12,13</sup>.

## 2. Grafen

Grafen je dvourozměrný nanoalotrop uhlíku tvořený pouze jednou (jednoatomovou) vrstvou grafitu. Atomy uhlíku grafenu v  $sp^2$  hybridizaci tvoří polykondenzované hexagony připomínající včelí plástve, které díky delokalizovaným  $\pi$  elektronům vytvářejí vodivou síť<sup>14</sup>. Elektronový oblak nad a pod rovinou jader uhlíku je příčinou výjimečné elektrické vodivosti<sup>15</sup>, ale také chemické inertnosti grafenu<sup>16</sup>, kvůli stabilizaci jeho  $p_z$  orbitalů právě v delokalizovaném systému  $\pi$  elektronů. Naopak pevná kovalentní vazba atomů uhlíku ve vrstvě grafenu má za následek i mimořádné mechanické vlastnosti, jako je vysoký Youngův modul (1 TPa)<sup>17</sup>. Za zmínku stojí i optické

vlastnosti, např. vysoká transparentnost, která se postupně snižuje s počtem vrstev<sup>18</sup>, a nelineární chování pozorovatelné zejména v oblasti okolo 250 nm, což nabízí další možnost využití v řadě optických aplikací. Všechny tyto jedinečné vlastnosti grafenu jsou základem pro jeho různorodé využití v oblasti elektroniky, senzorů, bioaplikací či ochranných vrstev, což dokazuje rozsáhlé množství publikací, přehledových článků a produktů<sup>19–32</sup>.

Specifické vlastnosti grafenu nicméně omezují jeho přímé použití v některých aplikacích. Patří mezi ně nulový zakázaný pás, obtížná disperzibilita ve většině polárních rozpouštědel, samoagregace a vysoká chemická inertnost. Pro rozšíření portfolia aplikací (např. pro ukládání el. energie, různé druhy senzorů, zobrazování v lidských tkáních či cílené dopravy léčiv) je vhodné grafen funkcionalizovat.

### 2.1. Grafenové deriváty

Funkcionalizace grafenu způsobuje otevření zakázaného pásu, zlepšuje dispergovatelnost či snižuje samoagregaci grafenových vrstev<sup>23</sup>. Funkcionalizace navíc představuje způsob, jak vtisknout materiálům na bázi grafenu požadované vlastnosti, jež nenabízí samotný grafen. Rozlišujeme dva způsoby funkcionalizace, a to funkcionalizaci nekovalentní a kovalentní<sup>23</sup>, která vede k syntéze grafenových derivátů. Nevalentní modifikace způsobuje většinou jemné změny vlastností grafenu, např. posunutí Diracova bodu<sup>33</sup>. Nicméně vzniklé nanokompozitní materiály nejsou stabilní a mohou se rozpadat na své původní složky. Kovalentní funkcionalizací naopak dochází k drastickému zásahu do vlastností grafenu, např. k významnému otevření zakázaného pásu, změnám v disperzibilitě, chemické stabilitě aj. (cit.<sup>23</sup>). Tyto vlastnosti pak závisí na chemické povaze funkční skupiny a také na hustotě pokrytí grafenu funkčními skupinami. Díky intenzivnímu výzkumu v této oblasti byla navržena celá řada metod funkcionalizace grafenu vedoucích k derivátům s požadovanými vlastnostmi. Ty lze využít v širokém spektru aplikací<sup>21,22,28–30</sup>.

Nejnámějším derivátem grafenu je grafen oxid, nestechiometrický derivát grafenu s různými funkčními skupinami obsahujícími kyslík. Hlavní nevýhodou grafenu oxidu je jeho velká chemická různorodost vyplývající z přítomnosti mnoha různých funkčních skupin, včetně peroxidů, karboxylových, hydroxylových a epoxidových skupin<sup>34</sup>. Navíc se zastoupení jednotlivých skupin liší podle metody přípravy. Grafen oxid a jeho následné deriváty jsou navíc nevodivé materiály, jelikož mnoho různých funkčních skupin již podstatně narušuje hexagonální síť  $sp^2$  uhlíků a elektronový oblak<sup>35,36</sup>. Vzhledem k nízké vodivosti není grafen oxid vhodným materiálem pro ukládání energie.

Deriváty grafenu, které jsou přímo syntetizované ze samotného grafenu či grafitu, mají obvykle velký povrch a díky nízkému stupni funkcionalizace také značnou vodivost, což je předurčuje pro využití v aplikacích pro ukládání energie. Teoretická kapacita grafenu činí až  $550 \text{ F g}^{-1}$

(cit.<sup>37</sup>). Většina článků využívajících čistý grafen/redukovaný oxid grafenu však tak vysokou hodnotu neudává, pravděpodobně kvůli opětovnému skládání listů a nízké smáčivosti elektrolytem. Proto je funkcionalizace grafenu jak v rovině vrstvy (dopování heteroatomy), tak mimo rovinu (funkční skupiny) velmi výhodná pro zvýšení plochy povrchu dostupné pro kontakt s elektrolyty. Případné zavedení redoxně aktivních molekul může díky faradaickému přenosu náboje (a tím způsobenému pseudokapacitnímu příspěvku) navíc zvýšit výkon v aplikacích pro ukládání energie.

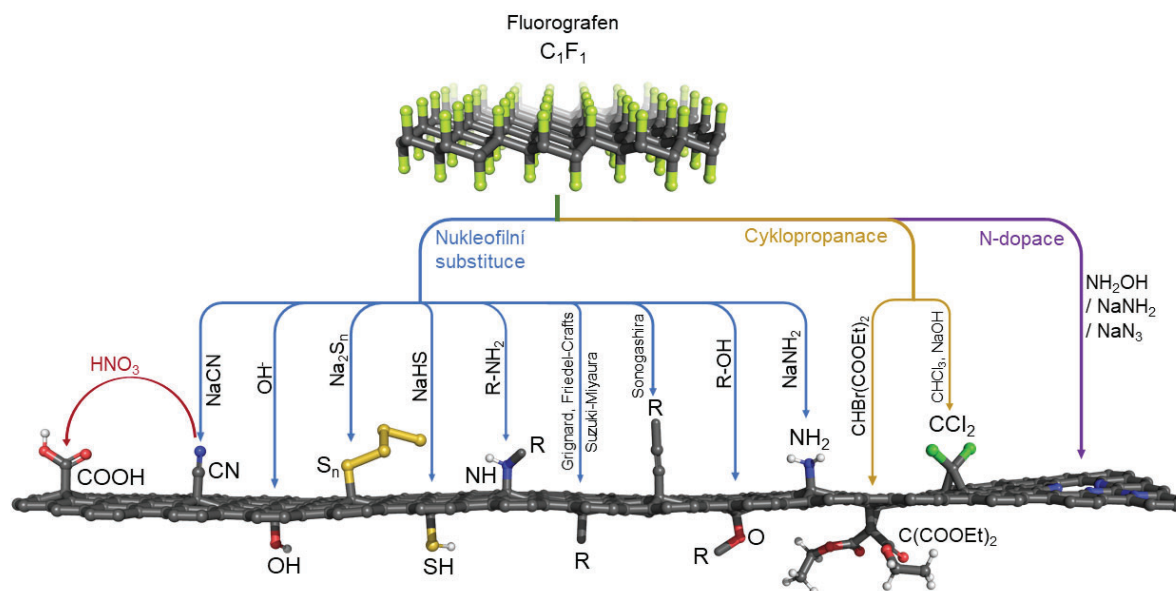
## 2.2. Fluorografen

Rozvoj chemie fluorografenu je alternativním přístupem k syntéze grafenových derivátů, který obchází nevýhody přímé funkcionalizace grafenu či grafen oxidu. Fluorografen (FG), někdy trochu nešťastně nazývaný „2D-teflon“, je stechiometrický derivát grafenu, ve kterém je na každý  $sp^3$  atom uhlíku v hexagonální struktuře podobné grafenu navázán atom fluoru<sup>38,39</sup>. Různé syntetické přístupy poskytují odlišná složení  $C_xF_y$  (poměry  $x:y$ ), a tedy i stupeň funkcionalizace, jenž ovlivňuje i výsledné vlastnosti<sup>40</sup>. Výhodou FG je snadná dostupnost jeho prekurzoru, grafitu fluoridu, který se komerčně používá jako lubrikant<sup>41</sup> či materiál pro primární lithiové baterie<sup>42</sup>. Jelikož přítomnost  $sp^3$  atomů uhlíku s navázaným atomem fluoru narušuje  $\pi$ -konjugovaný systém  $sp^2$  uhlíků grafenu, je FG považován za jeden z nejtenčích známých izolantů s nedávno teoreticky vypočteným elektronickým zakázaným pásem 7,1 eV a experimentálně ověřeným (pomocí

metody difúzní-reflektance, DRIFT) optickým zakázaným pásem o šířce 5,7 eV (cit.<sup>43</sup>).

FG, stejně jako grafen, je vysoce hydrofobní<sup>44</sup>, což komplikuje jeho přímé zpracování v polárních rozpouštědlech, zejména ve vodě. Může být ovšem dispergován v některých organických rozpouštědlech, s vysokým povrchovým napětím<sup>45</sup>, z nichž ale některá podporují spontánní defluorinaci FG za pokojové teploty, např. DMF<sup>46–48</sup>. I když je FG perfluorovaný uhlovdík a takové sloučeniny jsou obvykle považovány za chemicky velmi inertní, jeho atomy fluoru jsou připojené k terciárním atomům uhlíku, což způsobuje jeho překvapivou reaktivitu. Pevnost C–F vazby, která je považována za jednu z nejpevnějších jednoduchých vazeb, je navíc ve fluorovaných grafenech značně závislá na okolním uspořádání<sup>49</sup>. Reaktivitu FG dále zvyšuje přítomnost defektů, jež jsou velmi náchylné k nukleofilnímu ataku<sup>50–52</sup>. FG tedy podléhá širokému spektru reakcí, a to i za běžných laboratorních podmínek. Tento originální a říditelný způsob syntéz poskytuje dobře definované deriváty grafenu s nízkým množstvím zbytkového fluoru a vysokým stupněm funkcionalizace (běžně 10–20 %). Výsledné deriváty grafenu obsahují jak vodivou  $sp^2$  konjugovanou síť, tak i  $sp^3$  hybridizované uhlíky nesoucí funkční skupiny, které vtiskávají vzniklým derivátům specifické vlastnosti. Chemie FG tak nabízí jedinečnou cestu k novým grafenovým derivátům<sup>46,51,53,54</sup> a široké spektrum reakcí (obr. 2).

FG je vhodným prekurzorem pro syntézu širokého portfolia vodivých, cílených, tzv. na míru šitých funkcionalizovaných derivátů s kontrolovanými vlastnostmi a strukturou. Tyto deriváty tvoří novou rozsáhlou třídu



Obr. 2. Schéma portfolia reakcí FG pro přímou syntézu navržených derivátů grafenu. Adaptováno z cit.<sup>50</sup>, zdroje literatury pro uvedené reakce lze najít v uvedené citaci

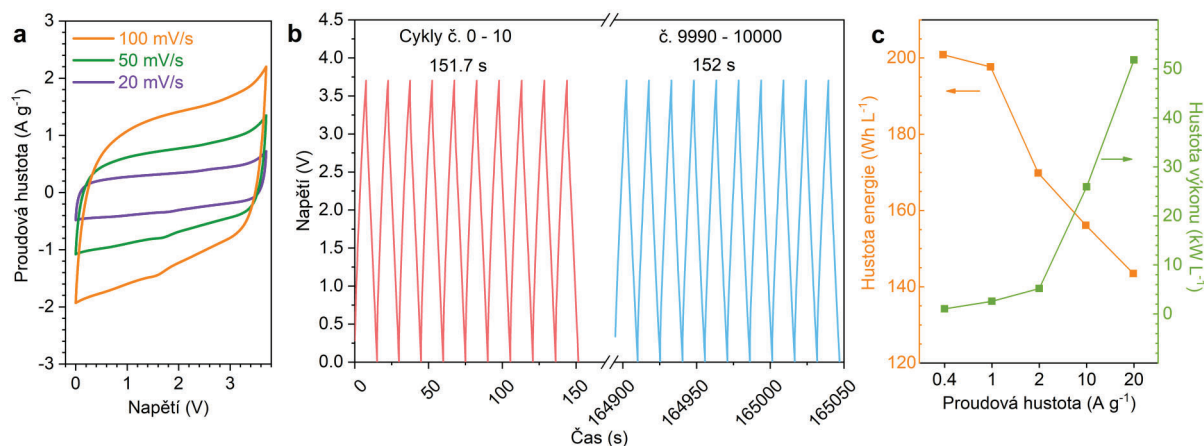
kovalentně modifikovaných materiálů na bázi grafenu a nabízejí velmi slibné vlastnosti pro využití v řadě aplikací od katalýzy<sup>55</sup> přes oblast čištění vod<sup>56,57</sup>, bioaplikací<sup>58</sup>, senzoriky<sup>59–61</sup>, skladování vodíku<sup>62</sup> až po skladování energie<sup>54,63</sup>, o čemž především pojednává tato práce.

### 3. Testování elektrodových materiálů pro superkondenzátory

Při laboratorním testování SK se využívají dvě testovací uspořádání, tří- a dvouelektrodové. Tříelektrodový testovací systém se skládá z pracovní, referenční a pomocné elektrody. Zkoumaný materiál je většinou nanesen ve formě disperze, husté pasty, inkoustu, popř. je jinak vodivě připojen k pracovní elektrodě. Tříelektrodové uspořádání se používá pro prvotní testy či optimalizaci podmínek testování. Dvouelektrodový systém sestává ze dvou proudových sběračů s vodivě připojeným aktivním materiálem; elektrody jsou odděleny izolačním separátorem. Celý systém je ponořen do vodivého elektrolytu a těsně uzavřen. Dvouelektrodové uspořádání se podobá struktuře používané v komerčních součástkách, proto se takto změřené hodnoty výkonu považují za věrohodnější a směrodatnější než měření získaná z tříelektrodového uspořádání. Z dvouelektrodového uspořádání je také možné spolehlivě vypočítat hodnoty hustoty energie a výkonu, které jsou velmi důležité pro porovnání výkonu sledovaného materiálu s ostatními publikovanými výsledky. Hustota energie vyjadřuje přímo možné množství uložené energie na jednotku hmotnosti, objemu či plochy, zatímco hustota výkonu charakterizuje rychlost nabíjení a vybíjení. Hustota energie je obvyklou slabinou SK, zatímco vysoká hustota výkonu je jednou z jejich výhod, již je třeba zachovat. Současnou výzvou pro součástky ukládající energii je dosáhnout

vysoké hustoty energie baterií (atakující hodnoty i nad 500 Wh kg<sup>-1</sup>) za vysoké hustoty výkonu, které jsou schopny poskytovat kondenzátory. Galvanostatické nabíjení / vybíjení (GCD) a cyklická voltametrie (CV) jsou hlavními experimentálními technikami, které se používají k elektrochemickému testování elektrodových materiálů. CV sleduje proud v systému v závislosti na vloženém potenciálu a skenovací rychlosti. Výsledný voltamogram závislosti proudu na potenciálu umožňuje diagnostiku zkoumaného materiálu z kvantitativního i kvalitativního hlediska. Tvar CV záznamu lze využít k rozlišení chování EDLC (Electric Double Layer Capacitor) a pseudokapacitního chování, kdy CV křivka EDLC má většinou obdélníkový tvar, zatímco u pseudokapacitních materiálů je ve většině případů viditelná přítomnost redoxních píků<sup>1,64</sup> (např. v obr. 3a lze vidět kombinovaný příspěvek EDLC i pseudokapacitance).

Technika GCD je jednou z nejběžnějších metod hodnocení výkonu superkondenzátoru za přesně stanovených experimentálních podmínek. Experimentem zahrnujícím opakované nabíjení a vybíjení testovaného materiálu při konstantním proudu v určeném potenciálovém okně získáme informace o výkonu materiálu či o jeho stabilitě během dlouhodobého cyklování (obr. 3b). Zároveň ze změřených dat lze poměrně snadno získat hodnoty kapacitance (ve F g<sup>-1</sup>), hustoty energie (gravimetrické v Wh kg<sup>-1</sup> či volumetrické v Wh l<sup>-1</sup>), hustoty výkonu (gravimetrického v kW kg<sup>-1</sup> či volumetrického v kW l<sup>-1</sup>) a jejich vzájemnou závislost (obr. 3c). Obecně platí, že hustota energie klesá s použitou proudovou hustotou, kdy naopak roste hustota výkonu. Proto je potřeba při porovnávání výkonu různých materiálů pečlivě posuzovat nejen samotné výkonové parametry, ale také podmínky, za kterých byly změřeny.



Obr. 3. Přehled elektrochemických technik a výsledných dat. a) Cyklické voltamogramy při různých rychlostech polarizace. b) Profily galvanostatického nabíjení a vybíjení vykazující perfektní stabilitu i po 10 000 cyklech. c) Závislost hustoty energie a výkonu na proudové hustotě. Uvedená elektrochemická data jsou charakteristická pro dusíkem dopovaný grafen<sup>76</sup>, obrázek je adaptován z téže citace



#### 4. Využití grafenových derivátů v superkondenzátorech

Dále se zaměříme na práce, které využívají výlučně grafenové deriváty odvozené z FG jako aktivní elektrodo-  
vé materiály v SK. Samotný FG je nevodivý, a není tedy vhodný elektrodo-  
vý materiál pro SK. Nicméně ho lze termicky defluorinovat a připravit termicky redukovaný FG s nízkým podílem  $sp^3$  uhlíků a vysokým podílem  $sp^2$  uhlíků. Izotermickou redukcí při 450 °C ve vodíkové atmosféře lze připravit redukovaný FG s optimalizovaným množstvím reziduálního fluoru (0,5 at.%). Připravený materiál nabízí kapacitu 539 F g<sup>-1</sup> při proudové hustotě 0,25 A g<sup>-1</sup> a vykazuje excelentní cyklickou stabilitu ve tří-  
dvouelektrodo-  
vém uspořádání při použití zásaditého vodného elektrolytu<sup>40</sup>.

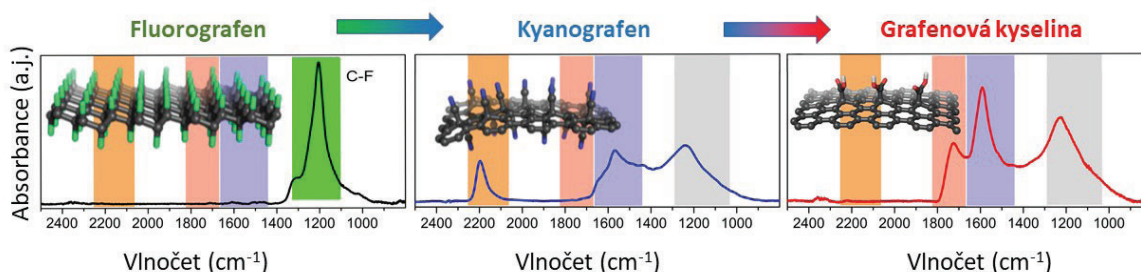
Jak již bylo uvedeno výše, reakcí FG s vhodnými nukleofilními činidly lze připravit celou plejádu grafenových derivátů s funkčními skupinami. Aminokupina kyseliny 5-amino-isoftalové reaguje ochotně s FG a vzniklý derivát je zajímavý tím, že obsahuje dvě strukturně blízké titrovatelné funkční skupiny, tj. sekundární aminokupinu a karboxylovou skupinu, a je dobře dispergovatelný ve vodě v širokém rozmezí pH. V neutrálním prostředí nabízí tyto funkční skupiny tvorbu zwitteriontů, které mohou podporovat interakci s elektrolytem<sup>65–67</sup>. Dle doby reakce lze získat reakcí kyseliny 5-aminoisoftalové s FG různé deriváty, lišícími se stupněm funkcionalizace, avšak s podobnou morfologií. Jemná rovnováha mezi množstvím kovalentně vázaných funkčních skupin a zároveň dostatečnou plochou nenarušené vodivé sítě  $sp^2$  uhlíků je zásadní pro dosažení vysokých hodnot kapacity od 271 do 391 F g<sup>-1</sup> (v neutrálním elektrolytu 1M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, změřených ve tříelektrodo-  
vém systému)<sup>68</sup>. V dvouelektrodo-  
vém systému dosahuje kapacity až 105 F g<sup>-1</sup> při potenciálovém okně 1,2 V. Také aminokyseliny, které nesou strukturně blízké titrovatelné funkční skupiny, představují vhodné sloučeniny pro modifikaci FG směrem k elektrodo-  
vým materiálům SK. Přes svou guanidinovou skupinu byla aminokyselina arginin homogenně navázána na obě strany grafenu se stupněm funkcionalizace 3,7 %. Elektrochemické parametry byly následně zvýšeny díky použití pórto-  
vorného činidla, uhličitanu draselného, což

přímo zvýšilo kapacitanci na 390 F g<sup>-1</sup> (při proudové hustotě 0,25 A g<sup>-1</sup> ve tříelektrodo-  
vém uspořádání, a 32 F g<sup>-1</sup> ve dvouelektrodo-  
vém uspořádání), a to za použití vodného elektrolytu (1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<sup>69</sup>. Také cyklická stabilita dosahovala uspokojivých hodnot, neboť po 30 000 nabíjecích/vybíjecích cyklech při proudové hustotě 2 A g<sup>-1</sup> byla kapacitance zachována z více než 80 %.

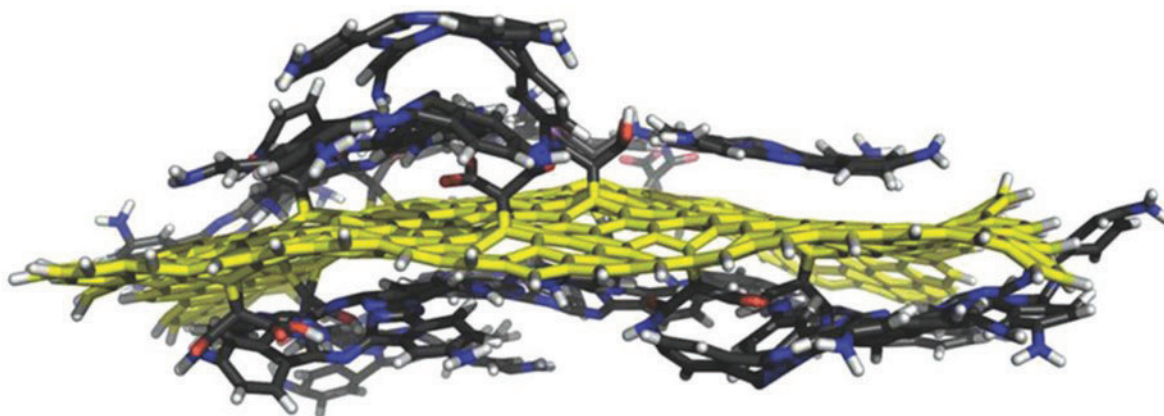
Kyanografen (GCN) a grafenová kyselina (GA)<sup>70</sup> přibýly do rodiny grafenových derivátů v roce 2017 (obr. 4). GCN se připravuje nukleofilní substitucí FG pomocí kyanidu sodného a jde o grafen homogenně oboustranně funkcionalizovaný kyano- (či nitrilovou,  $-C\equiv N$ ) skupinou se stupněm pokrytí asi 10 %. GA je následným produktem kyselého hydrolyzy GCN. Jedná se o grafenový derivát, který je homogenně pokrytý karboxylovými skupinami ( $-COOH$ ), a jde tedy o 2D organickou karboxylovou kyselinu s  $pK_a$  5,3.

GCN i GA byly testovány také jako elektrodo-  
vé materiály SK v neutrálním elektrolytu (1M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a GCN vykazoval mírně lepší výkon<sup>71</sup> díky účinnější interakci kyano skupin s negativními ionty elektrolytu při neutrálním pH. Grafenová kyselina byla následně důkladně studována v elektrolytu s nízkým pH (cit.<sup>72</sup>), jelikož kovalentně navázané karboxylové skupiny byly nejvíce elektrochemicky redoxně aktivní právě v 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, poskytující velmi výrazný pseudokapacitní příspěvek k celkovému výkonu. GA dosáhla hodnot kapacity až 40 F g<sup>-1</sup> ve dvouelektrodo-  
vém uspořádání při 1 A g<sup>-1</sup>, největší její devízou byla hlavně stabilita, kdy po 60 000 cyklech klesl výkon celý pouze o 7 % (cit.<sup>72</sup>). Vzhledem k tomu, že materiálové charakteristiky se mohou lišit i mezi jednotlivými šaržemi, značná pozornost byla věnována opakovatelnosti syntézy GA. Mezi jednotlivými šaržemi byly pozorovány pouze zanedbatelné rozdíly v atomárním složení a ve spektroskopických charakteristikách.

Oba deriváty, GCN i GA, díky volným funkčním skupinám nabízí ukotvení či navázání dalších nanomateriálů. GCN posloužil jako vodivý substrát pro ukotvení ultramálních nanočástic  $\beta$ -FeOOH (akaganeitu)<sup>73</sup>. Vzniklý hybridní elektrodo-  
vý materiál vykazuje výraznou smáčivost v organickém elektrolytu, což umožňuje dosažení širokého potenciálového okna 3,5 V. Podařilo se tak dosáhnout vysoké hustoty energie při velmi vysoké hustotě



Obr. 4. Schéma syntézy kyanografenu a grafenové kyseliny z fluorografenu s příslušnými spektry z infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací



Obr. 5. Strukturální model ftalokyaninu navázaného kovalentně na grafenový skelet (vyznačený žlutě) získaná pomocí metody molekulární dynamiky (molekuly okolního rozpouštědla nejsou pro přehlednost zobrazeny). Adaptováno z cit.<sup>66</sup>

výkonu ( $37 \text{ Wh kg}^{-1}$  při  $2 \text{ kW kg}^{-1}$ ), což jsou významně vyšší hodnoty než ty uváděné v tehdejší literatuře, dokonce i při použití komerčních metrik<sup>73</sup>. Podobným způsobem byly navázány ultramalé částice  $\text{Fe}_3\text{S}_4$  (greigitu) pro vytvoření vodivého a elektroaktivního materiálu rychlou jedнокrokovou metodou, která přinesla významné výhody v nevodných elektrolytech<sup>74</sup>. Efektivní redoxní procesy, způsobené právě přítomností částic  $\text{Fe}_3\text{S}_4$  obsahujícími redoxně aktivní železo (a proto přispívající k pseudokapacitanci<sup>1</sup> výsledného kondenzátoru), umožnily velmi spolehlivě uchovávat náboj v širokém potenciálovém okně  $3,5 \text{ V}$  při použití iontové kapaliny jako elektrolytu, a proto připravený SK předčil nejmodernější systémy v oblasti SK na bázi sulfidů kovů<sup>74</sup>.

GA byla také využita jako vodivá platforma pro ukotvení amino-funkcionalizovaného  $\text{UiO-66-NH}_2$  (materiál z rodiny kovově-organických sítí, MOF) prostřednictvím amidových vazeb. Získaný materiál vykazuje velký povrch vodivé sítě s hierarchickými póry, tedy materiálové charakteristiky ideální pro skladování energie. Celkové parametry zařízení byly výrazně zlepšeny pomocí asymetrického uspořádání kondenzátoru, které dovolilo rozšíření potenciálového okna až na  $1,6 \text{ V}$  při použití neutrálního elektrolytu  $1 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ . Kladná elektroda byla tvořena popisovaným materiálem  $\text{GA@UiO-66-NH}_2$  a záporná MXenem  $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ . Výsledné uspořádání se vyznačovalo charakteristikami vysoce výkonných SK zařízení s hustotou výkonu až  $16 \text{ kW kg}^{-1}$ , hustotou energie až  $73 \text{ Wh kg}^{-1}$  a vysokou cyklickou stabilitou ( $88 \%$ ) po  $10\,000$  cyklech<sup>75</sup>.

Možnost výstavby zwitteriontového (obojetného) materiálu grafenovou chemií se ukázala jako výhodná strategie pro přenos náboje a jeho uchovávání. FG byl nejprve podroben Bingelově-Hirschově reakci (pomocí bromomalonátového nukleofilu), což vedlo k vytvoření diethylmalonátových jednotek kovalentně navázaných na grafen<sup>66</sup>. Tyto jednotky byly následně hydrolyzovány na

reaktivní karboxylové skupiny. Vzniklá dikarboxyl-grafenová kyselina byla poté konjugována s tetraaminofthalokyaninem obsahujícím železo ( $\text{FePc-NH}_2$ ). Teoretické modelování naznačilo možné uspořádání ftalokyaninových jednotek na grafenové vrstvě, které mají tendenci interagovat s povrchem a mezi sebou prostřednictvím  $\pi$ - $\pi$  mezimolekulárních interakcí (obr. 5). Testováním při reálných operačních podmínkách<sup>66</sup> bylo dosaženo až  $59 \text{ Wh kg}^{-1}$  v neutrálním elektrolytu, což v době vydání práce byl jeden z nejvyšších publikovaných výkonů SK elektrody.

Chemie FG může vést také k novým grafenovým derivátům, které vykazují dopaci uhlíkového skeletu grafenu. Dusíkem dopované grafenové deriváty vznikají reakcí FG s amidy či azidy<sup>76,77</sup>. Reakcí FG s azidem sodným vzniká grafenový materiál s vysokým podílem zabudovaných dusíkových atomů ( $16 \text{ at.}\%$ ) ve struktuře grafenu a s unikátními tetraedrickými vazbami (podobnými těm v diamantové struktuře). Zřejmě z těchto strukturálních důvodů vykazuje grafen dopovaný dusíkem (značený GN3) vysokou hmotnostní hustotu  $2,8 \text{ g cm}^{-3}$ , (pro srovnání hustota grafitu činí  $\sim 2,2$  a diamantu  $\sim 3,5 \text{ g cm}^{-3}$ )<sup>76</sup>. Vysoká hustota předurčuje tento materiál pro vysoký objemový výkon v oblasti ukládání elektrické energie, což je klíčový parametr pro zařízení v oblasti přenosných úložišť energie<sup>78–83</sup>. GN3 vykazuje průlomové vlastnosti, neboť současně poskytuje velmi vysokou hustotu energie a hustotu výkonu, zejména když jeho energetická hustota činí přibližně  $200 \text{ Wh l}^{-1}$  při výkonu  $2,6 \text{ kW l}^{-1}$  a  $143 \text{ Wh l}^{-1}$  při  $52 \text{ kW l}^{-1}$ , čímž materiál překonává původní nejlepší výsledky o  $74 \%$  a  $190 \%$  (cit.<sup>76</sup>). Uvedené charakteristiky a vysoká stabilita v nabíjecích a vybíjecích cyklech ( $100\%$  zachování výkonu po  $10\,000$  cyklech při vysoké proudové hustotě  $20 \text{ A g}^{-1}$ ) předurčují tento materiál pro komerční uplatnění.

## 5. Závěr

Chemie fluorografenu představuje rychle se rozvíjející oblast materiálové chemie, která dovoluje přípravu na míru šitých, kovalentně funkcionalizovaných grafenových derivátů. Vzhledem k tomu, že prekurzor pro přípravu fluorografenu je komerčně snadno dostupný a reakční podmínky nevyžadují složité vybavení, stávají se i výsledné materiály velmi dobře škálovatelné pro průmysl. FG chemie umožňuje naroubování specifického typu funkční skupiny, precizní kontrolu stupně funkcionalizace a dopace grafenových derivátů, které jednoznačně ovlivňují jejich chování jako elektrodových materiálů. Právě tato univerzálnost je největší devízou FG chemie, protože poskytuje vhodné deriváty, jež jsou následně kompatibilní s elektrolyty na vodné i organické bázi pro široké využití nejen na poli ukládání energie. Nicméně oblast FG nelze považovat ani zdaleka za uzavřenou a jistě ještě nabídne řadu překvapení a povede k novým typům materiálů.

## LITERATURA

- Gogotsi Y., Penner R. M.: *ACS Nano* 12, 2081 (2018).
- Gogotsi Y., Simon P.: *Science* 334, 917 (2011).
- Simon P., Gogotsi Y., Dunn B.: *Science* 343, 1210 (2014).
- P. Dubal D., Ayyad O., Ruiz V., Gómez-Romero P.: *Chem. Soc. Rev.* 44, 1777 (2015).
- Salanne M., Rotenberg B., Naoi K., Kaneko K., Taberna P.-L., Grey C. P., Dunn B., Simon P.: *Nat. Energy* 1, 1 (2016).
- Simon P., Gogotsi Y.: *Nat. Mater.* 7, 845 (2008).
- Simon P., Gogotsi Y.: *Nat. Mater.* 19, 1151 (2020).
- Kowal J., Avaroglu E., Chamekh F., Šenfělds A., Thien T., Wijaya D., Sauer D. U.: *J. Power Sources* 196, 573 (2011).
- Armand M., Endres F., MacFarlane D. R., Ohno H., Scrosati B.: *Nat. Mater.* 8, 621 (2009).
- Li Zhang L., S. Zhao X.: *Chem. Soc. Rev.* 38, 2520 (2009).
- Zhu Y. a 12 spoluautorů: *Science* 332, 1537 (2011).
- Yang Z., Tian J., Yin Z., Cui C., Qian W., Wei F.: *Carbon* 141, 467 (2019).
- Wang G., Zhang L., Zhang J.: *Chem. Soc. Rev.* 41, 797 (2012).
- Novoselov K. S., Jiang D., Schedin F., Booth T. J., Khotkevich V. V., Morozov S. V., Geim A. K.: *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 102, 10451 (2005).
- Novoselov K. S., Geim A. K., Morozov S. V., Jiang D., Katsnelson M. I., Grigorieva I. V., Dubonos S. V., Firsov A. A.: *Nature* 438, 197 (2005).
- Yan L., Zheng Y. B., Zhao F., Li S., Gao X., Xu B., Weiss P. S., Zhao Y.: *Chem. Soc. Rev.* 41, 97 (2011).
- Lee C., Wei X., Kysar J. W., Hone J.: *Science* 321, 385 (2008).
- Booth T. J. a 10 spoluautorů: *Nano Lett.* 8, 2442 (2008).
- Nandanapalli K. R., Mudusu D., Lee S.: *Carbon* 152, 954 (2019).
- Boukhvalov D. W., Katsnelson M. I.: *Nano Lett.* 8, 4373 (2008).
- Yang G., Bao D., Liu H., Zhang D., Wang N., Li H.: *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.* 27, 1129 (2017).
- Chang M. S., Kim Y. S., Kang J. H., Park J., Sung S. J., So S. H., Park K. T., Yang S. J., Kim T., Park C. R.: *Chem. Mater.* 29, 307 (2017).
- Georgakilas V., Otyepka M., Bourlinos A. B., Chandra V., Kim N., Kemp K. C., Hobza P., Zboril R., Kim K. S.: *Chem. Rev.* 112, 6156 (2012).
- Hirsch A., Englert J. M., Hauke F.: *Acc. Chem. Res.* 46, 87 (2013).
- Kuila T., Bose S., Mishra A. K., Khanra P., Kim N. H., Lee J. H.: *Prog. Mater. Sci.* 57, 1061 (2012).
- Zhang J., Hu K., Ouyang Q., Gui Q., Chen X.: *Front. Mater. Sci.* 14, 198 (2020).
- Arranz-Mascarós P., Godino-Salido M. L., López-Garzón R., García-Gallarín C., Chamorro-Mena I., López-Garzón F. J., Fernández-García E., Gutiérrez-Valero M. D.: *ACS Omega* 5, 18849 (2020).
- Park J., Yan M.: *Acc. Chem. Res.* 46, 181 (2013).
- Chua C. K., Pumera M.: *Chem. Soc. Rev.* 42, 3222 (2013).
- Yu W., Sisi L., Haiyan Y., Jie L.: *RSC Adv.* 10, 15328 (2020).
- Bottari G., Herranz M. Á., Wibmer L., Volland M., Rodríguez-Pérez L., Guldi D. M., Hirsch A., Martín N., D'Souza F., Torres T.: *Chem. Soc. Rev.* 46, 4464 (2017).
- Shnitov V. V., Rabchinskii M. K., Brzhezinskaya M., Stolyarova D. Yu., Pavlov S. V., Baidakova M. V., Shvidchenko A. V., Kislenko V. A., Kislenko S. A., Brunkov P. N.: *Small* 17, 2104316 (2021).
- Yang J. W., Lee G., Kim J. S., Kim K. S.: *J. Phys. Chem. Lett.* 2, 2577 (2011).
- Jovanovic Z., Bajuk-Bogdanović D., Jovanović S., Mravik Ž., Kovač J., Holclajtner-Antunović I., Vujković M.: *Electrochim. Acta* 258, 1228 (2017).
- R. Dreyer D., Park S., W. Bielawski C., S. Ruoff R.: *Chem. Soc. Rev.* 39, 228 (2010).
- Hirsch A., Englert J. M., Hauke F.: *Acc. Chem. Res.* 46, 87 (2013).
- Xia J., Chen F., Li J., Tao N.: *Nat. Nanotechnol.* 4, 505 (2009).
- Pykal M., Zbořil R., Otyepka M.: *Chem. Listy* 110, 335 (2016).
- Zbořil R., Karlický F., Bourlinos A. B., Steriotis T. A., Stubos A. K., Georgakilas V., Šafářová K., Jančík D., Trapalis C., Otyepka M.: *Small* 6, 2885 (2010).
- Petr M. a 10 spoluautorů: *Nanoscale* 11, 21364 (2019).
- Ye X., Ma L., Yang Z., Wang J., Wang H., Yang S.: *ACS Appl. Mater. Interfaces* 8, 7483 (2016).
- Liu J., Wan Y., Liu W., Ma Z., Ji S., Wang J., Zhou Y., Hodgson P., Li Y.: *J. Mater. Chem. A* 1, 1969 (2013).

43. Hrubý V., Zdražil L., Džibelová J., Šedajová V., Bakandritsos A., Lazar P., Otyepka M.: *Appl. Surf. Sci.* 587, 152839 (2022).
44. Lazar P., Otyepková E., Karlický F., Čépe K., Otyepka M.: *Carbon* 94, 804 (2015).
45. Hernandez Y. a 18 spoluautorů: *Nat. Nanotechnol.* 3, 563 (2008).
46. Borse R. A., Kale M. B., Sonawane S. H., Wang Y.: *Adv. Funct. Mater.* 32, 2202570 (2022).
47. Zbořil R., Karlický F., Bourlinos A. B., Steriotis T. A., Stubos A. K., Georgakilas V., Šafařová K., Jančík D., Trapalis C., Otyepka M.: *Small* 6, 2885 (2010).
48. Chronopoulos D. D., Bakandritsos A., Pykal M., Zbořil R., Otyepka M.: *Appl. Mater. Today* 9, 60 (2017).
49. Langer R., Zaoralová D., Medved' M., Banáš P., Błoński P., Otyepka M.: *J. Phys. Chem. C* 123, 27896 (2019).
50. Hrubý V., Zaoralová D., Medved' M., Bakandritsos A., Zbořil R., Otyepka M.: *Nanoscale* 14, 13490 (2022).
51. Dubecký M., Otyepková E., Lazar P., Karlický F., Petr M., Čépe K., Banáš P., Zbořil R., Otyepka M.: *J. Phys. Chem. Lett.* 6, 1430 (2015).
52. Medved' M., Zoppellaro G., Ugolotti J., Matochová D., Lazar P., Pospíšil T., Bakandritsos A., Tuček J., Zbořil R., Otyepka M.: *Nanoscale* 10, 4696 (2018).
53. Langer R., Zaoralová D., Medved' M., Banáš P., Błoński P., Otyepka M.: *J. Phys. Chem. C* 123, 27896 (2019).
54. Bakandritsos A., Jakubec P., Pykal M., Otyepka M.: *FlatChem* 13, 25 (2019).
55. Haag D., Kung H. H.: *Top. Catal.* 57, 762 (2014).
56. Christian Kemp K., Seema H., Saleh M., H. Le N., Mahesh K., Chandra V., S. Kim K.: *Nanoscale* 5, 3149 (2013).
57. Baig N., Ihsanullah, Sajid M., Saleh T. A.: *J. Environ. Manage.* 244, 370 (2019).
58. Kumar S., Chatterjee K.: *ACS Appl. Mater. Interfaces* 8, 26431 (2016).
59. Nurazzi N. M., Abdullah N., Demon S. Z. N., Halim N. A., Azmi A. F. M., Knight V. F., Mohamad I. S.: *Nanotechnol. Rev.* 10, 330 (2021).
60. Tang X., Debliquy M., Lahem D., Yan Y., Raskin J.-P.: *Sensors* 21, 1443 (2021).
61. Alzate-Carvajal N., Luican-Mayer A.: *ACS Omega* 5, 21320 (2020).
62. Jain V., Kandasubramanian B. J.: *Mater. Sci.* 55, 1865 (2020).
63. Huang H. a 15 spoluautorů: *Adv. Funct. Mater.* 30, 1909035 (2020).
64. Zhang S., Pan N.: *Adv. Energy Mater.* 5, 1 (2015).
65. Peng X., Liu H., Yin Q., Wu J., Chen P., Zhang G., Liu G., Wu C., Xie Y.: *Nat. Commun.* 7, 11782 (2016).
66. Bakandritsos A., Chronopoulos D. D., Jakubec P., Pykal M., Čépe K., Steriotis T., Kalytchuk S., Petr M., Zbořil R., Otyepka M.: *Adv. Funct. Mater.* 28, 1801111 (2018).
67. Jung Y., Yang Y., Kim T., Shin H. S., Hong S., Cha S., Kwon S.: *ACS Appl. Mater. Interfaces* 10, 6207 (2018).
68. Vermisoglou E. C., Jakubec P., Bakandritsos A., Pykal M., Talande S., Kupka V., Zbořil R., Otyepka M.: *Chem. Mater.* 31, 4698 (2019).
69. Vermisoglou E. C. a 10 spoluautorů: *ChemSusChem* 14, 3904 (2021).
70. Bakandritsos A. a 12 spoluautorů: *ACS Nano* 11, 2982 (2017).
71. Heng Cheong Y., Nasir M. Z. M., Bakandritsos A., Pykal M., Jakubec P., Zbořil R., Otyepka M., Pumera M.: *ChemElectroChem* 6, 229 (2019).
72. Šedajová V., Jakubec P., Bakandritsos A., Ranc V., Otyepka M.: *Nanomaterials* 10, 1731 (2020).
73. Talande S. V., Bakandritsos A., Jakubec P., Malina O., Zbořil R., Tuček J.: *Adv. Funct. Mater.* 29, 1906998 (2019).
74. Talande S. V., Bakandritsos A., Zdražil L., Jakubec P., Mohammadi E., Tomanec O., Otyepka M., Presser V., Zbořil R., Tuček J.: *J. Mater. Chem. A* 8, 25716 (2020).
75. Jayaramulu K. a 15 spoluautorů: *Adv. Mater.* 33, 2004560 (2021).
76. Šedajová V. a 10 spoluautorů: *Energy Environ. Sci.* 15, 740 (2022).
77. Zaoralová D., Hrubý V., Šedajová V., Mach R., Kupka V., Ugolotti J., Bakandritsos A., Medved' M., Otyepka M.: *ACS Sustain. Chem. Eng.* 8, 4764 (2020).
78. Gu W., Yushin G.: *Wiley Interdiscip. Rev.: Energy Environ.* 3, 424 (2014).
79. Gogotsi Y., Simon P.: *Science* 334, 917 (2011).
80. Simon P., Gogotsi Y.: *Acc. Chem. Res.* 46, 1094 (2013).
81. Jin H. a 11 spoluautorů: *Angew. Chem., Int. Ed.* 58, 2397 (2019).
82. Li H., Tao Y., Zheng X., Luo J., Kang F., Cheng H.-M., Yang Q.-H.: *Energy Environ. Sci.* 9, 3135 (2016).
83. Li Z., Gadipelli S., Li H., Howard C. A., Brett D. J. L., Shearing P. R., Guo Z., Parkin I. P., Li F.: *Nat. Energy* 5, 160 (2020).

V. Šedajová<sup>a</sup>, A. Bakandritsos<sup>a,b</sup>, and M. Otyepka<sup>a,c</sup> (<sup>a</sup> Palacký University Olomouc, Regional Centre of Advanced Technologies and Materials, Czech Advanced Technology and Research Institute (CATRIN), Olomouc, <sup>b</sup> Technical University of Ostrava, Nanotechnology Centre, Centre of Energy and Environmental Technologies, Ostrava, <sup>c</sup> Technical University of Ostrava, IT4Innovations, Ostrava, Czech Republic): **Covalently Functionalized Graphene Derivatives as Active Electrode Materials for Supercapacitors**

Research efforts for supercapacitor electrode materials have become increasingly important due to the high demand for long-lasting, high-performing and environmentally friendly portable energy storage devices. Graphene-based materials and their hybrids have been shown to be very promising candidates for meeting these requirements. This short review summarizes recent advances in the development of graphene derivatives and focuses in particular on materials derived from graphite fluoride. Covalent graphene derivatives belong to a progressive class of highly efficient materials with tailorable structural and physicochemical properties that can be adapted to meet specific capacitive charge storage requirements, and, thus, enhance the most effective development of the energy storage field.

Keywords: supercapacitor, graphene, fluorographene, derivative, energy



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.

## METODY FIXACE DUSÍKU A JEHO REDUKCE NA AMONIAK

JAROSLAVA JAROLÍMKOVÁ a ZDEŇKA KOLSKÁ

Centrum nanomateriálů a biotechnologií, Přírodovědecká fakulta, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem,  
Pasteurova 15, 400 96 Ústí nad Labem, Česká republika  
jaroslavajarolimkova@gmail.com

Došlo 7.8.23, přijato 21.8.23.

Důležitým tématem dnešní doby je výzkum a vývoj nových materiálů pro výrobu amoniaku ze vzdušného dusíku za atmosférického tlaku a pokojové teploty. Do dnešní doby se amoniak stále vyrábí tradiční Haberovou-Boschovou syntézou, ke které je potřeba vysokých tlaků a vysokých teplot a využívá fosilní paliva. Proto je tento proces zatížen nadměrnou emisí skleníkových plynů. Tato práce je zaměřena na možnosti vývoje nových materiálů, které jsou schopny zachytit vzdušný dusík a redukovat jej na amoniak za mírných podmínek. Pro tyto redukce lze využít fotokatalýzu, elektrokatalýzu, plasmonické struktury a jejich kombinace. Zároveň jsou v této práci shrnuty dosavadní pokroky a celková problematika dané oblasti.

**Klíčová slova:** fixace dusíku, redukce na amoniak, fotokatalytické redukce, elektrokatalytické redukce, plasmonem asistované redukce

### Obsah

1. Úvod
2. Redukční reakce dusíku (NRR)
3. Metody redukčních reakcí dusíku
  - 3.1. Fotokatalytické redukční reakce dusíku
  - 3.2. Elektrokatalytické redukční reakce dusíku
  - 3.3. Fotoelektrokatalytické redukční reakce dusíku
  - 3.4. Plasmonem asistované redukční reakce dusíku
4. Závěr

### 1. Úvod

Amoniak ( $\text{NH}_3$ ) je pro své široké využití jednou z celosvětově nejžádanějších surovin chemického průmyslu. Je hojně využíván v oblasti výroby zemědělských hnojiv, ve farmacii, pro výrobu syntetických vláken, barviv a výbušnin<sup>1-4</sup>. Pro svou bez-uhlíkovou povahu a vysokou energetickou hustotu ( $13,6 \text{ GJ m}^{-3}$ ) je amoniak považován za „ideální“ meziprodukt pro skladování vodíku nebo jako „zelené“ palivo<sup>5-7</sup>. V současnosti je amoniak stále získáván především tradičním Haberovým-Boschovým (HB) procesem. HB proces je používán od 20. století, využívá fosilní paliva (zdroj vodíku) a je doprovázen nadměrnou emisí skleníkových plynů (3 molekuly  $\text{CO}_2$  na 8 molekul  $\text{NH}_3$ )<sup>1,4</sup>. Dalšími nevýhodami HB procesu je nutnost extrémních podmínek pro průběh reakce, zejména vysoké teploty (300–500 °C) a vysokého tlaku (15–25 MPa), s čímž také souvisí významná spotřeba energie<sup>1,4</sup>. Vzhledem k vysoké poptávce po amoniaku a jeho aktuální

„neekologické“ výrobě jsou vyvíjeny nové metody a nové materiály pro redukci dusíku za příznivějších podmínek.

### 2. Redukční reakce dusíku

Výroba amoniaku z molekulárního dusíku ( $\text{N}_2$ ) za mírných podmínek, tj. pokojové teploty a atmosférického tlaku, ideálně s využitím jednoduchých, ekonomických a účinných katalyzátorů, je velmi aktuálním tématem<sup>8,9</sup>. V přírodních procesech jsou pro přeměnu atmosférického dusíku na amoniak využívány enzymy – nitrogenasy. Ty katalyzují redukci a protonaci  $\text{N}_2$ , a přestože je rozštěpení trojné vazby mezi dvěma atomy dusíku extrémně energeticky náročné, jsou tyto enzymy schopny provést redukci při biologických teplotách a atmosférickém tlaku. Existují tři druhy nitrogenas, které se liší typem kovu v aktivním místě: (a) železo-molybden, (b) železo-vanad, (c) železo-železo. Všechny tyto druhy nitrogenas mají podobnou strukturu a reaktivitu a skládají se ze dvou oddělených proteinových klastrů: (a) dinitrogenasy reduktasy (tj. dimer obsahující železo), jenž dodává elektrony pro redukci a (b) dinitrogenasy (tj. tetramer obsahující železo a molybden/vanad/železo), kde dochází k vazbě a redukci  $\text{N}_2$  (cit.<sup>10</sup>). Po vzoru přírodních procesů jsou vyvíjeny umělé foto-/elektro- katalyzátory, které jsou schopny redukovat dusík na amoniak po „přidání“ protonů a elektronů, a to v laboratorních či průmyslových podmínkách<sup>8</sup>.

Jednou z hlavních výzev je však nedostatek vhodných, levných, účinných katalyzátorů, které by mohly účinně produkovat amoniak a dosahovat vysoké Faradayo-

vy účinnosti (FE) při elektrochemické redukci dusíku. FE je důležitým faktorem pro hodnocení účinnosti a efektivitu elektrochemických procesů a vyjadřuje poměr mezi množstvím látky, které je elektrochemickou reakcí přeměněno a celkovým množstvím neseného náboje<sup>9</sup>. Dalším problémem je, že povrchy katalyzátorů, které jsou aktivní pro redukci dusíku na amoniak v přítomnosti vody, jsou také aktivní při redukci vody na plynný vodík. To tedy znamená, že většina protonů a elektronů v systému inklinuje spíše k reakci tvorby vodíku (HER) než k reakci redukce dusíku (NRR). Proto převažuje tvorba vodíku nad amoniakem. Tento problém se dá vyřešit vývojem selektivnějších katalyzátorů<sup>8,11</sup>. Další překážkou pro NRR je pevná trojná vazba molekuly N<sub>2</sub> a její vysoká chemická odolnost, která se projevuje nepolaritou molekuly, extrémně vysokou vazebnou energií 940 kJ mol<sup>-1</sup> a velkým energetickým rozdílem HOMO-LUMO (HOMO LUMO gap, 10,82 eV), který je nepříznivý pro transport elektronů. Dále pak záporná elektronová afinita (-1,9 eV) a vysoký ionizační potenciál (15,8 eV), který zvyšuje rezistenci vůči Lewisovým kyselinám a zásadám<sup>8,12–14</sup>.

### 3. Metody redukčních reakcí dusíku

#### 3.1. Fotokatalytické redukční reakce dusíku

Při fotocatalytických redukčních reakcích dusíku je světelné/sluneční záření využíváno jako „nevyčerpatelný“ zdroj energie a vodné prostředí jako reakční rozpouštědlo a zdroj protonů. Na fotocatalyzátorech jsou vlivem absorpce záření generovány páry elektron-díra a ty pak slouží jako aktivní místa pro reakce s dusíkem a vodou za vzniku amoniaku při „mírných“ podmínkách. Tento proces syntézy amoniaku s nízkou spotřebou energie, bezpečným provozem a bez emise oxidu uhličitého, je šetrný k životnímu prostředí a je považován za „udržitelnou“ technologii syntézy amoniaku. Je však nutné vyvinout vysoce účinné katalyzátory pro překonání pomalé aktivační kinetiky molekul dusíku<sup>14,15</sup>.

Bylo prokázáno, že kombinace katalyzátorů založených na Schiffových bázích připojených k oxidu kobalt-nato-kobaltitému (Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) je schopna fixovat dusík<sup>16</sup>. Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> má úzký zakázaný pás, což mu umožňuje být excitován slunečním zářením a vytvářet páry elektron-díra. Nicméně ale jeho nevýhodou je snadná rekombinace těchto vzniklých párů. Schiffova báze byla navržena tak, aby tyto vlastnosti Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> modifikovala. Velká π-konjugovaná struktura Schiffových bází umožňuje stabilizaci elektronů a prodloužení jejich životnosti. Geometrie částic katalyzátoru podobná mořskému ježkovi umožňuje transport elektronů, které se shromažďují na špičkách hrotů a následně aktivují dusík v roztoku. Katalyzátor je bohatý na kyslíkové vakance, které poskytují místa pro adsorpci a aktivaci dusíku. Za optimálních podmínek může rychlost fixace dusíku dosáhnout 2880 μg dm<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>. Takto vyvinutý katalyzátor je schopný fixovat dusík i v noci, tj. i bez přítomnosti slunečního světla<sup>16</sup>. Fixace dusíku ve dne i v noci je

schopný také fotocatalyzátor na bázi oxidů kobaltu a železa dopovaný aromatickou karboxylovou kyselinou připravený solvotermální metodou<sup>17</sup>. Organický ligand slouží v katalyzátoru pro inhibici rekombinace párů fotoelektron-díra a upravuje energetickou mezeru pro přeměnu dusíku na amoniak za atmosférického tlaku a teploty. Ze získaných experimentálních dat byla prokázána schopnost fixace dusíku. Rychlost fixace dusíku by mohla být 216 μmol dm<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> při simulovaném slunečním osvětlení a 112 μmol dm<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> v noci<sup>17</sup>. Se zvyšujícím se počtem cyklů výkon redukce postupně klesá, což může být způsobeno obsazením aktivních míst malými polárními molekulami, které je náročné zcela odstranit<sup>17</sup>. Dalším katalyzátorem bohatým na kyslíková volná místa je nanovrstvenatý molybdenan bismutitý leptaný po syntéze pomocí NaOH za pokojové teploty<sup>18</sup>. Takto vytvořený katalyzátor zlepšil fotogenerovanou separaci nosičů náboje a schopnost nanovrstvy absorbovat dusík. Tím bylo dosaženo zvýšené a stabilní fotocatalytické fixace dusíku s vysokou rychlostí produkce amoniaku na hodnotu téměř 800 μmol g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> při osvětlení viditelným světlem a při opakovaném použití, což představuje 340% nárůst oproti nanovrstvám molybdenanu bismutitého bez úpravy leptáním NaOH (cit.<sup>18</sup>). Fotocatalyzátor také vykazoval „dobrou toleranci“ vůči kyslíku, což umožnilo použití vzduchu a nikoli jen „čistého“ dusíku<sup>18</sup>.

Významnou oblastí zájmu mohou být také kompozitní materiály, jako např. 2D/2D materiály, tj. dvourozměrné nanovrstvy vystavěné na jiných dvourozměrných nanovrstvách a heteropřechodech, které mezi nimi vznikají. Např. 2D nanovrstvy Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> vystavěné na 2D nanovrstvách Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> (zkráceně 2D/2D CZTS/BWO) (cit.<sup>19</sup>) nebo 2D ultratenký oxid wolframu na 2D grafitickém nitridu uhlíku (zkráceně 2D/2D WO<sub>3</sub>/gC<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) (cit.<sup>20</sup>). Takto vytvořené materiály mají zvýšenou schopnost absorpce viditelného světla a velkou schopnost separovat nosiče náboje, což značně zvyšuje katalytickou aktivitu. Dále zde probíhá synergický efekt mezi fotocatalyzátorem a Fentonovou katalýzou, což zvyšuje foto-Fentonovu aktivitu<sup>19</sup>.

#### 3.2. Elektrokatalytické redukční reakce dusíku

Elektrokatalytická redukce dusíku na amoniak využívá pro průběh reakce elektrického proudu. Elektrolytické články obsahují elektrody, mezi kterými je vodný roztok s vhodným katalyzátorem. Při přiložení napětí na katodě, která funguje zároveň jako elektrokatalyzátor, probíhá redukce dusíku na amoniak. Tento přístup umožňuje větší kontrolu nad reakcí a může být účinnější než dříve zmíněná fotocatalytická redukce. V porovnání s konvenčním HB procesem umožňuje proces elektrochemické redukce za „mírných“ podmínek snížit spotřebu energie, snížit uhlíkovou stopu, zjednodušit konstrukci reaktoru a zjednodušit technické podmínky firem na výrobu amoniaku<sup>8</sup>. Stejně jako u dříve zmíněné fotochemické redukce můžeme protony získávat přímo z vodných roztoků elektrolytů a tím odpadá nutnost využití plynného vodíku<sup>21</sup>. Pro elektrokatalytickou fixaci dusíku se obvykle využívají elektro-

katalyzátory na bázi přechodných kovů (TM), jako jsou železo<sup>22</sup>, molybden<sup>22</sup> a titan<sup>23</sup>. Tyto katalyzátory jsou často studovány pro svou značnou aktivitu potřebnou pro aktivaci molekuly dusíku. Tu je možné aktivovat buď přijetím  $\sigma$  elektronů z  $N_2$  přes prázdné d-orbitály nebo „odevzdáním“ elektronů z částečně obsazených d-orbitálů  $\pi^*$  antivazebným orbitalům  $N_2$  (cit.<sup>24</sup>). Železo bylo identifikováno jako nezbytný kov pro biologickou fixaci dusíku v enzymu nitrogenase<sup>22</sup>. Studie naznačují, že i při řízené fixaci dusíku hraje železo významnou roli a je zodpovědné za aktivaci a přenos elektronů během reakčního procesu. Role molybdenu není doposud tak dobře prostudována, a to ani v biologické, ani v elektrokatalytické fixaci dusíku. Předpokládá se však, že je molybden také významně zapojen do procesu aktivace a vázání dusíku<sup>22</sup>. U titanu bylo prokázáno<sup>23</sup>, že je schopný fixovat a redukovat dusík. Maximální hodnota produkce amoniaku na  $TiO_2$  nanotrubicích je  $1,48 \mu\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ . Pro zvýšení účinnosti byly  $TiO_2$  nanotrubičky dopované zirkoniem ( $Zr-TiO_2$ ) nebo cerem ( $Ce-TiO_2$ ). Nejvyšší hodnoty produkce amoniaku bylo dosaženo u nanotrubic  $Zr-TiO_2$ , a to  $8,9 \mu\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ . Bylo zjištěno, že nanotrubičky  $Zr-TiO_2$  jsou stabilní i po několika hodinách nepřetržité katalýzy a nevykazují žádnou zjevnou změnu ve výtěžnosti  $NH_3$  a v proudové účinnosti<sup>23</sup>. Dále bylo studováno využití heterogenních elektrokatalyzátorů na bázi drahých, ušlechtilých kovů. Ty se jeví pro elektrokatalytickou fixaci dusíku jako energeticky účinné, ale nízká FE účinnost a jejich vysoká cena brání jejich použití v komerčním měřítku<sup>24,25</sup>.

### 3.3. Fotoelektrokatalytické redukční reakce dusíku

Fotoelektrokatalytickým NRR (PEC-NRR) reakcím se v posledních letech věnuje značná pozornost. Kombinuje se při nich fotokatalýza za použití fotokatalyzátoru, který je navíc elektrodou, a následně elektrokatalýza přiložením napětí. Tento přístup může zlepšit selektivitu reakce a tím následně i celkovou výtěžnost. Pro úspěšnou komercializaci PEC-NRR by měly fotokatalytické materiály splňovat několik požadavků: (a) vhodnou strukturu absorpčních pásů, ideálně spadající do oblasti viditelného světla (400–760 nm), aby byla zajištěna možnost využití slunečního záření; (b) rychlou separaci excitonů a rychlý transport fotogenerovaných elektronů na povrch fotoelektrod; (c) vysokou katalytickou aktivitu a selektivitu, aby byla zajištěna vyšší účinnost NRR nad HER a (d) dlouhodobou stabilitu, aby bylo možné tyto materiály využívat dlouhou dobu<sup>21</sup>. I přes rozsáhlý výzkum je potřeba vyřešit několik problémů v oblasti vývoje vysoce výkonných fotoelektrodových materiálů pro PEC-NRR. Jednou z hlavních překážek je pomalá reakční kinetika NRR a dále nedostatečná absorpce světla fotoelektrod a nízká dlouhodobá stabilita materiálů<sup>21</sup>.

Pro PEC-NRR byly dosud studovány a popsány katalytické materiály převážně na bázi oxidů kovů<sup>27,28</sup>, sulfidů<sup>29</sup> či křemíku<sup>30</sup> a různé typy heterostruktur<sup>25,29,31</sup>. Z oxidů kovů byly např. syntetizovány wolframové nanotyčinky dopované železem (WOF) a wolframové nanotyčinky

dopované železem a zlatem (WOF-Au). Dopování železem odstraňuje objemové strukturní defekty, čímž zužuje optický pás polovodiče a umožňuje absorpci viditelného světla, ale také působí jako aktivní místo, které zachycuje a akumuluje elektrony pro adsorbované molekuly dusíku. Za stejných podmínek vykazoval WOF maximální hodnotu produkce amoniaku  $4,25 \mu\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ , která se po dopování zlatem zvýšila na hodnotu  $9,82 \mu\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ . Výsledky také ukazují, že wolframové nanotyčinky dopované pouze zlatem (tedy bez železa) nevykazují žádnou fotokatalytickou aktivitu. To lze vysvětlit tím, že nanočástice zlata hrají roli pouze pro lokalizované povrchové plasmonové rezonance (LSPR) a nedostatek aktivních míst na WO-Au vede k neaktivitě při přeměně dusíku na amoniak<sup>27</sup>. Dále byla studována fotoelektrokatalytická redukce dusíku na nanovlákněných fotokatalytických  $CuO$  a  $Cu_2O$ , na kterých byla i prokázána. Obě fotokatalytické generovaly  $NH_3$  při potenciálech kladnějších, než je termodynamický redukční potenciál  $N_2$ . Na rozdíl od elektrokatalytické redukce  $N_2$ , kde je potenciál elektronů použitých pro redukci určen vnějším potenciálem aplikovaným na elektrokatalyzátor, je potenciál fotoexcitovaných elektronů použitých pro redukci určen minimem vodivostního pásu fotokatalytické (CBM). CBM  $CuO$  a  $Cu_2O$  jsou zápornější než termodynamický redukční potenciál  $N_2$  bez ohledu na použitý potenciál. Použitý potenciál se využívá pouze ke změně stupně ohybu pásu pro oddělení fotogenerovaných párů elektron-díra<sup>28</sup>. Pro PEC-NRR byla také syntetizována heterostruktura  $Cu_2S-In_2S_3$ . Využití této heterostruktury se jeví jako vysoce účinné, pokud se pro proces využije ještě doplňkový absorbér světla – v tomto případě nanočástice  $BaGdF_5$ . Maximální hodnota produkce amoniaku pak byla  $23,67 \mu\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$  (cit.<sup>29</sup>). Další vytvořenou heterostrukturou pro PEC-NRR byly bismutové nanotrubičky, které byly při syntéze dopovány borem (BDB NR). Taková heterostruktura slouží zároveň jako katoda pro PEC-NRR a zároveň jako fotoanoda pro sběr světla a generování fotoelektronů. Výsledky ukázaly, že BDB NR s maximální hodnotou výtěžnosti amoniaku  $29,20 \text{ mg g}_{\text{kat}}^{-1} \text{h}^{-1}$  (vztaheno na gram katalyzátoru) jsou výrazně efektivnější, než „čistě“ bismutové nanotrubičky ( $10,60 \text{ mg g}_{\text{kat}}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) (cit.<sup>31</sup>).

### 3.4. Plasmonem asistované redukční reakce dusíku

Povrchové plasmony (SP) a s nimi spojená povrchová plasmonová rezonance (SPR) kovových nanostruktur mají široká uplatnění v nanofotonice, medicíně, senzorce a fotokatalýze<sup>32,33</sup>. Plasmonem aktivovaná katalýza je relativně nový přístup, při kterém se pro katalýzu redukčních reakcí dusíku využívá elektromagnetické záření vznikající v blízkosti a na povrchu kovových nanostruktur, tj. plazmony. Plazmony pak podporují chemické přeměny tak, že snižují jejich aktivační energii a usnadňují jejich průběh<sup>34</sup>. Při tomto přístupu jsou vytvářeny kovové nanostruktury s vlastnostmi plazmonů, které jsou následně deponovány na povrch katalyzátoru/fotoelektrody. Vznikající plasmony jsou využívány pro aktivaci dusíku a následně ke vzniku amoniaku<sup>35</sup>. Kovové struktury vykazující



plazmonické vlastnosti bývají nejčastěji zlaté nanočástice (AuNP) různých tvarů umístěné na substrátech, např. na křemíku<sup>33</sup>, TiO<sub>2</sub> (cit.<sup>36,37</sup>), SrTiO<sub>2</sub> (cit.<sup>35,38</sup>) nebo bývají studovány i samostatně, případně v kombinaci se stříbrnými nanočásticemi<sup>39–41</sup>.

Jedním z nadějných materiálů pro plasmonem aktivovanou katalýzu NRR je tzv. „černý křemík“ (bSi). Je to forma křemíku, u které je jeho povrch pokryt vrstvou nanostruktur (obvykle nanodrátků, nanotyčinek či nanošpiček), které účinně potlačují odraz světla a naopak zvyšují jeho rozptyl a absorpci. To má za následek, že se křemíkové destičky jeví jako černé namísto stříbrnošedých, což je pro planární křemíkové destičky typické. Bylo zjištěno, že produkce amoniaku je na bSi nízká, ale po depozici AuNP se výtěžnost amoniaku výrazně zvýšila. Aby se zabránilo oxidaci křemíku a zároveň se zlepšila separace náboje, byla na povrch křemíku nanosená vrstva chromu. Tento fotoelektrochemický článek vykazuje výtěžnost amoniaku 13,3 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Tento experiment byl zopakován i při zvýšeném tlaku 709,3 kPa, kdy bylo dosaženo výtěžnosti amoniaku 60 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (cit.<sup>33</sup>). Dalším nadějným materiálem testovaným pro plasmonem asistovanou NRR byl TiO<sub>2</sub>. Bylo prokázáno, že TiO<sub>2</sub> v rutilové formě dokáže fotokatalytickým způsobem „přeměnit“ dusík a vodu za vzniku amoniaku a kyslíku, přičemž rychlost produkce čpavku je 5,1 nmol cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Zlaté nanočástice zvyšují účinnost produkce, což vede k rychlosti 9,2 nmol cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> pro TiO<sub>2</sub>/AuNP. Pokud byl na vzorek TiO<sub>2</sub> deponován amorfní TiO<sub>2</sub> (a-TiO<sub>2</sub>) pomocí depozice atomárních vrstev (ALD), bylo dosaženo rychlosti produkce až 10,7 nmol cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Při současném nanosení AuNP a vrstvy a-TiO<sub>2</sub> na TiO<sub>2</sub> se aktivita NRR značně zvýší. Povrchové kyslíkové vakance a zlaté nanočástice synergicky zvyšují produkci amoniaku a dosahují optimalizované rychlosti 13,4 nmol cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Test dlouhodobé stability, který byl proveden 7 cykly opakovaných po 6hodinových expozicích, nevykazoval žádné významné poklesy fotoaktivity, což svědčí o reprodukovatelném a stabilním chování elektrody TiO<sub>2</sub>/AuNP/a-TiO<sub>2</sub> (cit.<sup>36</sup>). Pro zlepšení efektivity NRR byly testovány i jiné substráty, jejichž základem byl oxid titaničitý, jako např. titaničitan stroncia dopovaný niobem (Nb-SrTiO<sub>3</sub>). Na jeho povrch byly z jedné strany deponovány AuNP a z opačné strany byla nanosená 3 nm tenká vrstva ruthenia jako ko-katalyzátor. Takto byl úspěšně vyvinut stabilní a jednoduchý systém pro syntézu amoniaku indukovanou plasmonem bez externí elektrochemické aparatury s reakční rychlostí tvorby amoniaku 1,1 nmol cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Fotofixace dusíku navíc zahrnuje pouze pásy vlnových délek delších než 550 nm (cit.<sup>35</sup>). V jiné práci bylo místo chromu studováno jako ko-katalyzátor zirkonium a bylo dosaženo maximální rychlosti produkce amoniaku 6,5 nmol cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, což je téměř 6× více, než při použití ruthenia jako ko-katalyzátoru<sup>38</sup>.

Novou, nadějnou cestou pro (foto)elektrochemické systémy mohou být také duté, zlaté plasmonické nanostruktury. Porovnání podobných koncentrací zlatých nanokrychlíčků (AuNC), nanokuliček (AuNS), nanotyčinek (AuNR) a nanoklečí (AuHNC) ukazuje, že katalytická

účinnost AuHNC je nejvyšší. Zvýšená rychlost NRR je v tomto případě způsobena výrazně zvýšenou velikostí povrchu a možností „zadržení“ reaktantů v dutině (efekt „klece“). Při nanokatalýze pevnými nanočásticemi probíhá katalytická reakce zapojením atomů z vnějšího povrchu nanokatalyzátoru. Naproti tomu u dutých nanokatalyzátorů probíhá reakce jak na vnějším, tak na vnitřním povrchu. Nejnížší výtěžnost amoniaku byla získána u AuNR (0,99 μg cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), pro AuNS byla výtěžnost amoniaku 1,19 μg cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> a pro AuNCs 1,27 μg cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Tyto výsledky ukazují, že nanočástice s ostřejšími hranami a „rohy“ poskytují vyšší katalytickou aktivitu. Pro AuHNC byla nejvyšší výtěžnost amoniaku 3,9 μg cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (cit.<sup>39</sup>). Účinnost těchto nanočástic je možné ještě zvýšit kombinací plazmonických zlatých nanočástic s Ag<sub>2</sub>O, aktivním polovodičem typu p (aktivním ve viditelném světle). Výtěžnost amoniaku z Ag<sub>2</sub>O-Au nanoklečí byla 28,2 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (cit.<sup>40</sup>). Bylo popsáno i využití nanostruktur TiB<sub>2</sub> vložených mezi „spřažené“ plazmonické nanostruktury (zlaté nanočástice a zlatá mřížka) pro fotoelektrochemickou (PEC) redukci dusíku a selektivní produkci amoniaku. Využití této struktury umožňuje zachycení slunečního světla. Výsledkem bylo, že tyto experimenty simulované slunečním světlem poskytly výtěžky amoniaku 535,2 a 491,3 μg h<sup>-1</sup> mg<sub>kat</sub><sup>-1</sup> s využitím „čistého“ dusíku a vzduchu jako zdroje dusíku<sup>41</sup>.

#### 4. Závěr

Amoniak je a nadále i bude velmi důležitou surovinou využívanou v mnoha odvětvích lidské činnosti a průmyslu. Stále bývá získáván především tradičním Haberovým-Boschovým procesem, který je „neekologický“, protože využívá „nezelenej“ zdroj vodíku a extrémní podmínky (vysoký tlak a teplota). Snahou vědeckých výzkumů posledních let je navrhnout a testovat proces přípravy/výroby amoniaku v mírnějších, nejlépe běžných podmínkách („běžná“ teplota a atmosférický tlak). Možností přístupů k takovému procesu je několik. Jedná se o: (a) fotokatalytickou redukci, která pro katalýzu NRR využívá ideálně energii slunečního záření. Bohužel se jedná o málo efektivní metodu, protože intenzita energie slunečního záření je různá v závislosti na úhlu dopadu záření na katalyzátor, denního času a ročním období a geografické poloze. Dalším přístupem je (b) elektrokatalytická redukce, která pro katalýzu NRR využívá vnějšího elektrického potenciálu. Tento přístup se jeví účinnější než fotokatalýza, protože hodnotu vnějšího elektrického potenciálu můžeme optimalizovat a použít hodnotu, která je pro daný elektrokatalyzátor nejvhodnější a neefektivnější. Bohužel ale ani elektrokatalytické NRR stále nejsou vhodné pro zařazení procesu do průmyslové výroby z důvodu nízké konverzní účinnosti, pomalého průběhu reakce a vysokých nákladů na výrobu elektrod, které jsou často vyráběny z drahých a vzácných kovů. Nadějnějším přístupem je pak kombinace dvou výše zmíněných procesů, a to je (c) fotoelektrokatalytická redukce dusíku. Kombinací

fotokatalýzy a elektrokatalýzy lze dosáhnout vyšší selektivity a tím i vyšší účinnosti redukčních reakcí dusíku. Bohužel ani tímto přístupem zatím nebylo dosaženo takové účinnosti, aby bylo možné zcela nahradit klasický Haberův-Boschův proces. K dosažení tohoto cíle je nutné klást určité požadavky na vývoj katalyzátorů, a to nejen ve zvýšení jejich účinnosti, ale také v prodloužení jejich životnosti. Nejnovějším přístupem je (d) plasmonem katalyzovaná redukční reakce, při které dochází k zesílení katalytických účinků a NRR tak mohou probíhat efektivněji. Nejčastěji používaný materiál s plasmonickými vlastnostmi je zlato ve formě nanočástic. Bylo dokázáno, že zlaté nanočástice, obzvláště ve formě nanoklečí, mohou samy o sobě působit jako katalyzátor. Pro zlepšení jejich vlastností je vhodné kombinovat nanočástice s vhodným polovodičem. I přes výrazný pokrok posledních let je průmyslová výroba amoniaku za pokojové teploty a atmosférického tlaku stále neproveditelná ve velkém měřítku z důvodu nízké efektivity redukce a drahých katalytických materiálů. Nicméně výsledky ukazují slibné cesty dalšího vývoje a možnosti těchto výzkumů do budoucna.

*Práce byla finančně podpořena projektem Grantové agentury České republiky, GAČR, č. 23-05197S a interní grantové agentury Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem v ČR číslo projektu UJEP-SGS-2023-53-002-3.*

## Seznam zkratk

2D/2D CZTS/BWO	2D/2D Cu <sub>2</sub> ZnSnS <sub>4</sub> /Bi <sub>2</sub> WO <sub>6</sub> – 2D nanovrstvy Cu <sub>2</sub> ZnSnS <sub>4</sub> na 2D nanovrstvách Bi <sub>2</sub> WO <sub>6</sub>
2D/2D WO <sub>3</sub> /gC <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	2D oxid wolframu na 2D grafitickém nitridu uhlíku
ALD	depozice atomárních vrstev
a-TiO <sub>2</sub>	amorfní oxid titaničitý
AuHNC	zlaté nanoklece
AuNC	zlaté nanokrychličky
AuNP	zlaté nanočástice
AuNR	zlaté nanotyčinky
AuNS	zlaté nanokuličky
BDB NR	borem dopované bismutové nanotrubičky
bSi	černý křemík
CBM	minimum vodivostního pásu
FE	Faradayova účinnost
HB proces	Haberův-Boschův proces
HER	reakce vývoje vodíku
HOMO	highest occupied molecular orbital
LSPR	lokalizované povrchové plasmonové rezonance
LUMO	lowest unoccupied molecular orbital
Nb-SrTiO <sub>2</sub>	titaničitan stroncia dopovaný niobem
NRR	dusíkové redukční reakce
NRR	dusíkové redukční reakce

PEC-NRR	fotoelektrokatalytické dusíkové redukční reakce
SP	povrchové plasmony
SPR	povrchová plasmonová rezonance
TM	přechodné kovy
WO-Au	W <sub>18</sub> O <sub>49</sub> nanotyčinky dopované zlatem
WOF	W <sub>18</sub> O <sub>49</sub> nanotyčinky dopované železem
WOF-Au	W <sub>18</sub> O <sub>49</sub> nanotyčinky dopované železem a zlatem

## LITERATURA

- Han Z. S., Choi C., Hong S., Wu T. S., Soo Y. L., Jung Y., Qiu J. S., Sun Z. Y.: *Appl. Catal., B* 257, 117896 (2019).
- Li N., Tong Y. Y., Li H., Wang L. Q., Hou F., Dou S. X., Liang J.: *Carbon* 182, 233 (2021).
- Huang B., Wu Y. F., Chen B. B., Qian Y., Zhou N. G., Li N.: *Chin. J. Catal.* 42, 1160 (2021).
- Li L., Chen H. J., Li L., Li B. H., Wu Q. B., Ciu C. H., Deng B. A., Luo Y. L., Liu Q., Li T. S.: *Chin. J. Catal.* 42, 1755 (2021).
- Guo C. X., Ran J. R., Vasileff A., Qiao S. Z.: *Energy Environ. Sci.* 11, 45 (2018).
- Zhou F. L., Azofra L. M., Ali M., Kar M., Simonov A. N., McDonnell-Worth C., Sun C. H., Zhang X. Y., MacFarlane D. R.: *Energy Environ. Sci.* 10, 2516 (2017).
- Puertolas B., Comesana-Hermo M., Besteiro L. V., Vazquez-Gonzalez M., Correa-Duarte M. A.: *Adv. Energy Mater.* 12, 2103909 (2022).
- Cui X. Y., Tang C., Zhang Q.: *Adv. Energy Mater.* 8, 1800369 (2018).
- Zeng J. P., Chen H., Zhou C., Liu H. Y., Chen S.: *J. Mol. Graphics Modell.* 104, 107840 (2021).
- Crossland J. R., Tyler D. R.: *Coord. Chem. Rev.* 254, 1883 (2010).
- Rehman F., Kwon S., Hossain M. D., Musgrave C. B., Goddard W. A., Luo Z. T.: *J. Mater. Chem. A* 10, 23323 (2022).
- Lan M., Wang Y. T., Dong X. L., Yang F. Y., Zheng N., Wang Y., Ma H. C., Zhang X. F.: *Appl. Surf. Sci.* 591, 153205 (2022).
- Wang Q. R., Guan Y. Q., Guo J. P., Chen P.: *Cell Rep. Phys. Sci.* 3, 100779 (2022).
- Liu Y. N., Ye X. Y., Li R. P., Tao Y., Zhang C., Lian Z. C., Zhang D. Q., Li G. S.: *Chin. Chem. Lett.* 33, 5162 (2022).
- Zhang Y. Y., Guo L., Wang Y. X., Wang T. Y., Ma T. X., Zhang Z. Z., Wang D. J., Xu B., Fu F.: *J. Mater. Sci. Technol.* 110, 152 (2022).
- Shen Y. F., Chen L. C., Zhang L. P., Han W. H., Chang Y. R., Zheng H.: *Mol. Catal.* 524, 112338 (2022).
- Shen Y. F., Chen L. C., Zhang L. P., Han W. H.,

- Jiang M., Zheng H.: *Mol. Catal.* 518, 112091 (2022).
18. Li G., Yang W. Y., Gao S., Shen Q. Q., Xue J. B., Chen K. X.: *Chem. Eng. J.* 404, 127115 (2021).
  19. Guo L., Zhang K. L., Han X. X., Zhao Q., Zhang Y. Y., Qi M., Wang D. J., Fu F.: *Chin. J. Catal.* 41, 503 (2020).
  20. Fu J. W., Xu Q. L., Low J. X., Jiang C. J., Yu J. G.: *Appl. Catal., B* 243, 556 (2019).
  21. Wang L. Q., Yan X., Si W. P., Liu D. L., Hou X. C., Li D. J., Hou F., Dou S. X., Liang J.: *Chin. J. Catal.* 43, 1761 (2022).
  22. Liu J., Kelley M. S., Wu W. Q., Banerjee A., Douvalis A. P., Wu J. S., Zhang Y. B., Schatz G. C., Kanatzidis M. G.: *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113, 5530 (2016).
  23. Cao N., Chen Z., Zang K. T., Xu J., Zhong J., Luo J., Xu X., Zheng G. F.: *Nat. Commun.* 10, 2287 (2019).
  24. Li L. Q., Tang C., Jin H. Y., Davey K., Qiao S. Z.: *Chem* 7, 3232 (2021).
  25. Mushtaq M. A., a 12 spoluautorů: *Appl. Catal., B* 317, 121711 (2022).
  26. Wu T. W., Melander M. M., Honkala K.: *ACS Catal.* 12, 2505 (2022).
  27. Vu M. H., Nguyen C. C., Do T. O.: *ACS Sustainable Chem. Eng.* 8, 12321 (2020).
  28. Jang Y. J., Lindberg A. E., Lumley M. A., Choi K. S.: *ACS Energy Lett.* 5, 1834 (2020).
  29. Bi K., Wang Y., Zhao D. M., Wang J. Z., Bao D., Shi M. M.: *J. Mater. Chem. A* 9, 10497 (2021).
  30. Peramaiah K., Ramalingam V., Fu H. C., Alsabban M. M., Ahmad R., Cavallo L., Tung V. C., Huang K. W., He J. H.: *Adv. Mater.* 33, 2100812 (2021).
  31. Xu F. C. a 11 spoluautorů: *Appl. Catal., B* 284, 119689 (2021).
  32. Kalachyova Y., Mares D., Jerabek V., Ulbrich P., Lapcak L., Svorcik V., Lyutakov O.: *Phys. Chem. Chem. Phys.* 19, 14761 (2017).
  33. Ali M., Zhou F. L., Chen K., Kotzur C., Xiao C. L., Bourgeois L., Zhang X. Y., MacFarlane D. R.: *Nat. Commun.* 7, 11335 (2016).
  34. Guselnikova O., Vana J., Phuong L. T., Panov I., Rulisek L., Trelin A., Postnikov P., Svorcik V., Andris E., Lyutakov O.: *Chem. Sci.* 12, 5591 (2021).
  35. Oshikiri T., Ueno K., Misawa H.: *Angew. Chem., Int. Ed.* 53, 9802 (2014).
  36. Li C. C., Wang T., Zhao Z. J., Yang W. M., Li J. F., Li A., Yang Z. L., Ozin G. A., Gong J. L.: *Angew. Chem., Int. Ed.* 57, 5278 (2018).
  37. Yang J. H., Guo Y. Z., Jiang R. B., Qin F., Zhang H., Lu W. Z., Wang J. F., Yu J. C.: *J. Am. Chem. Soc.* 140, 8497 (2018).
  38. Oshikiri T., Ueno K., Misawa H.: *Angew. Chem., Int. Ed.* 55, 3942 (2016).
  39. Nazemi M., Panikkanvalappil S. R., El-Sayed M. A.: *Nano Energy* 49, 316 (2018).
  40. Nazemi M., El-Sayed M. A.: *Nano Energy* 63, 103886 (2019).

**J. Jarolímková and Z. Kolská** (*Centre for Nanomaterials and Biotechnology, Faculty of Science, J. E. Purkyně University in Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, Czech Republic*): **Methods for Nitrogen Fixation and Its Reduction to Ammonia**

The research and development of novel materials to produce ammonia from atmospheric nitrogen at atmospheric pressure and room temperature is a hot topic at the present time. Even today, ammonia is still being produced using the conventional Haber-Bosch synthesis, which requires high pressures and temperatures and uses fossil fuels, thus producing significant greenhouse gas emissions. This work is therefore focused on the possibility of preparation and research of new materials capable to fix atmospheric nitrogen and convert it to ammonia under mild conditions. Photocatalysis, electrocatalysis, plasmonic structures, and their combinations can be used for such reductions, In addition to that, this study outlines the advances achieved so far, as well as the general background of the subject.

**Keywords:** nitrogen fixation, reduction to ammonia, photocatalytic reduction, electrocatalytic reduction, plasmon-assisted reduction

*Acknowledgements*

*The work was financially supported by the Grant Agency of the Czech Republic, GAČR, No. 23-05197S and the internal grant agency of the University of J. E. Purkyně in Ústí nad Labem, Czech Republic, project number UJEP-SGS-2023-53-002-3.*



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.

## EPITACHOFORÉZA – METODA PRO ZÍSKÁVÁNÍ BIOMAKROMOLEKUL Z KOMPLEXNÍCH MATRIC

*Nové pohledy na analytickou chemii\**

HELENA HRUŠKOVÁ<sup>a,b</sup>, IVONA VORÁČOVÁ<sup>a</sup>, MARKÉTA LAŠTOVIČKOVÁ<sup>a</sup>, MICHAEL KILLINGER<sup>a,b</sup>  
a FRANTIŠEK FORET<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ústav analytické chemie, Akademie věd České republiky, Veveří 967/97, 602 00 Brno,

<sup>b</sup> Ústav chemie, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Kamenice 5, 625 00 Brno, Česká republika  
HelenaHruskova@email.cz

Došlo 10.6.23, přijato 17.7.23.

Epitachoforéza je nová separační preparativní technika založená na diskontinuální elektroforéze umožňující zakoncentrování a přečištění biomakromolekul z komplexních biologických matric. Zároveň umožňuje převést tyto sloučeniny z biologických tekutin zahrnujících například moč nebo živné sérum do jednoduššího roztoku vhodného pro následnou analýzu. V našich nedávno publikovaných vědeckých pracích jsme konkrétně cílili na využití epitachoforézy pro předúpravu vzorků obsahujících proteiny a DNA. Technika umožňovala více než sedmdesátinásobné zakoncentrování vzorku s výtěžností přes 90 %. Preparativní povaha epitachoforézy umožňuje následnou analýzu různými technikami zahrnujícími hmotnostní spektrometrii, kapilární elektroforézu, gelovou elektroforézu, ELISA analýzu nebo sekvenování nové generace.

Klíčová slova: DNA, proteiny, epitachoforéza, koncentrace, matrice

### Úvod

Tělní tekutiny (například krev a moč) obsahují množství sloučenin, jejichž zastoupení reflektuje stav organismu. Mezi takovéto látky spadá i DNA a proteiny, které v lidském těle plní řadu různorodých funkcí. Analýzu těchto biomakromolekul v biologické matici lze použít k diagnostickým účelům a tyto sloučeniny potom slouží jako biomarkery určitého onemocnění<sup>1,2</sup>. Přímá detekce těchto biomarkerů v tělních tekutinách je však obtížná, neboť jejich analytický signál může interferovat se signály ostatních sloučenin přítomných v matici. Biomakromolekuly se navíc ve vzorcích běžně vyskytují v nízkých koncentracích, což ještě více komplikuje analýzu z hlediska nároků na citlivost<sup>3</sup>. Z tohoto důvodu je nutné vyvíjet nové postupy pro zakoncentrování a přečišťování biomarkerů z biologických matric. V tomto článku se pokusíme seznámit čtenáře s využitím moderní separační metody – epitachoforézy (ETP) – k těmto účelům.



*Mgr. Helena Hrušková získala Cenu Metrohm 2023 za nejlepší článek v oblasti kapalinové chromatografie pro separaci iontových a polárních sloučenin. V letech 2014–2017 absolvovala bakalářské studium chemie na Masarykově univerzitě, Přírodovědecké fakultě, Oddělení chemie, v Brně a v letech 2017–2019 magisterské studium analytické chemie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze a v současné době je studentem doktorského studia na Masarykově univerzitě, Přírodovědecké fakultě, Oddělení chemie v Brně. Svoji doktorskou práci zaměřenou na mikro- a mezo- fluidní instrumentaci pro obohacování biologických vzorků vypracovává na Oddělení bioanalytické instrumentace Ústavu analytické chemie AV ČR v Brně pod vedením Ing. Františka Foreta, CSc. Mj. získala i cestovní studentský grant CASSS na prestižní mezinárodní konferenci HPLC 2022 symposium v San Diegu (USA).*

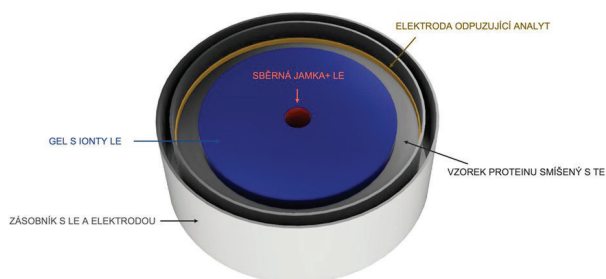
## Koncentrování biomakromolekul pomocí epitachoforézy

ETP již byla popsána v několika našich studiích<sup>4–7</sup>. Jedná se o preparativní separační metodu založenou na diskontinuální elektroforéze umožňující koncentrovat a přečistit roztoky biomakromolekul z velkých objemů (až desítky ml) biologických matric (viz obr. 1).

Základem ETP jsou dvě do sebe vložené kruhové nádoby propojené ve středu pomocí sběrné jamky s dialyzační membránou. Každá nádobka také obsahuje kruhové elektrody, jejichž polarita je nastavena dle typu analytu. Svrchní elektroda vždy odpuzuje analyt směrem ke středu zařízení a elektroda ve spodní nádobce ho přitahuje. Spodní nádobka a sběrná jamka jsou před experimentem naplněny vedoucím elektrolytem (LE – leading electrolyte). Do svrchní nádoby je vložen gel obsahující ionty LE. Mezi gel a okraj větší nádoby je nalita biologická tekutina (např. moč nebo kultivační médium) smíšená s ionty koncového elektrolytu (TE – terminating electrolyte).

Po připojení elektrod ke zdroji napětí dojde k odpuzování DNA/proteinů horní elektrodou směrem do středu zařízení. Jelikož systém elektrolytů je zvolen tak, aby probíhala diskontinuální elektroforéza, molekuly analytu vytvoří velmi úzkou kruhovou zónu migrující do středu zařízení. V okamžiku, kdy zóna analytu pronikne do sběrné jamky, je cílová sloučenina zachycena pomocí dialyzační membrány. Experiment je následně zastaven snížením elektrického napětí na nulovou hodnotu. DNA/proteiny je potom možné odebrat pomocí pipety. Analyty jsou zakoncentrovány z celkového objemu nadávkovaného do zařízení na začátku experimentu do objemu LE ve středu zařízení, který je obvykle několik desítek až stovek mikrolitrů. V našich publikacích jsme dosáhli koncentračního faktoru 75.

Dalším efektem, kterého lze pomocí ETP dosáhnout, je přečištění biomakromolekul od složek matrice. Toto přečištění dále umožňuje analýzu vzorku pomocí technik citlivých na obsah interferujících látek (solí, albuminu apod.). Převod analytu do čistšího roztoku probíhá díky



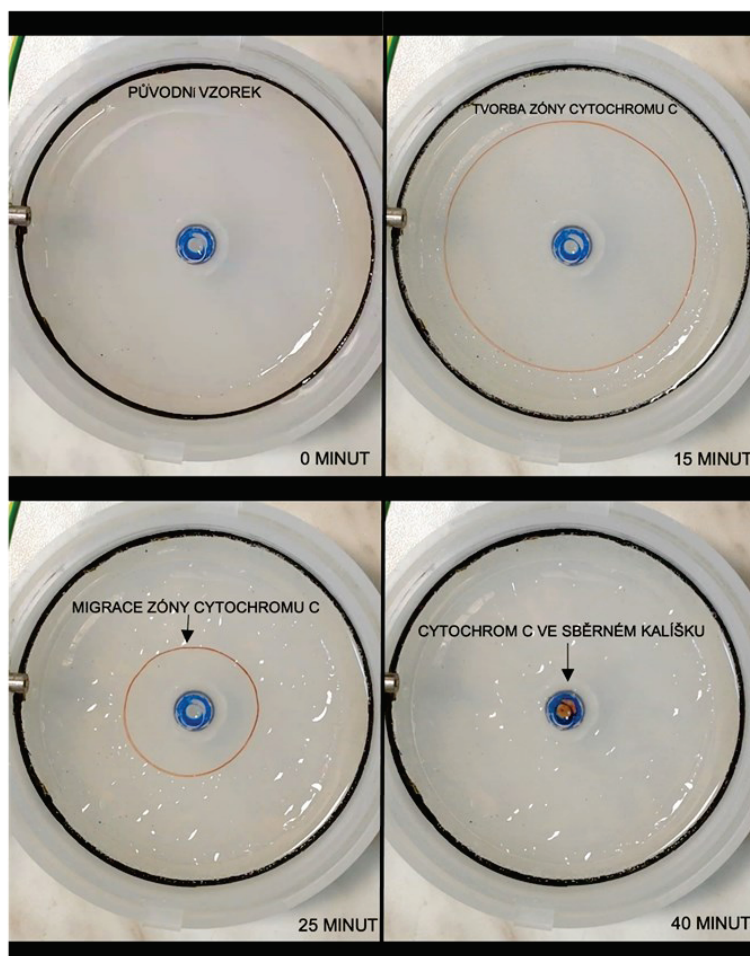
Obr. 1. Schématické zobrazení ETP zařízení. Převzato a upraveno s povolením z literatury<sup>7</sup>.

několika dějům. DNA nese díky přítomnosti fosfátových skupin záporný náboj, proto je koncentrována v aniontovém módu. Proteiny mohou nabývat jak kladného, tak záporného náboje v závislosti na pH roztoku. Pro naše potřeby jsme zvolili kladné pH (více je popsáno v kap. 3). Opačně nabité ionty, než jsou ionty analytu, migrují směrem k elektrodě, která analyt odpuzuje, a díky tomu dochází k jejich separaci od analytu. Dalším efektem této techniky je snížení obsahu solí a malých molekul. Ve sběrné jamce umístěné na středu zařízení probíhá dialýza. Sloučeniny, které do jamky doputují migrací a jsou menší, než je cut-off použité dialyzační membrány, nejsou membránou zachyceny. Narozdíl od makromolekul přecházejí přes membránu do druhé nádoby, čímž opět dochází k jejich eliminaci ze vzorku.

## Epitachoforéza proteinů

V práci<sup>7</sup>, která byla součástí soutěže o Cenu Metrohm 2023, jsme se věnovali využití ETP k zakoncentrování proteinů. Náboj proteinů je určen pH roztoku, ve kterém jsou rozpuštěny. Pro zakoncentrování proteinů pomocí ETP jsme zvolili nízké pH odpovídající jejich kladnému náboji. Získaná frakce byla rozpuštěna v kyselém těkavém pufru, což do budoucna umožňuje vývoj online spojení s hmotnostní spektrometrií, případně s dalšími online technikami. Vývoj metody zahrnoval optimalizaci několika parametrů. Nejprve byl zvolen elektrolytový systém, dále elektrický výkon a typ separačního gelu. Jako modelový protein byl použit cytochrom c v dostatečné koncentraci ( $0,1 \text{ mg ml}^{-1}$ ), aby byla vyvinutá zóna dobře pozorovatelná pouhým okem. Důležitými kritérii byl celkový čas experimentu, zahřívání středu ETP zařízení v důsledku vysoké proudové hustoty a tvar vyvinuté zóny proteinu. Proces optimalizace vyústil v zavedení elektrolytového systému sestávajícího se z 40 mM octanu amonného pH 4 (LE) a 20 mM octové kyseliny (TE). Tento elektrolytový systém poskytl nízký koncentrační čas, nízkou teplotu středu zařízení a symetrickou zónu proteinu (viz obr. 2).

V experimentech byla použita hodnota elektrického výkonu 5 W, přičemž po 25 minutách od začátku experimentu byla původní hodnota snížena na 1 W. Snížení výkonu zamezilo možné denaturaci či degradaci proteinu v důsledku přehřívání středu zařízení. Dalším důležitým parametrem byl typ použitého gelu, který v experimentech sloužil zejména jako antikonvekční a separační médium. Pro zakoncentrování cytochromu c bylo možné využít agarózové gely. V experimentech s myoglobinem a hemoglobinem se však při použití agarózového gelu projevila silná adsorpce proteinu na okraj gelu viditelná pouhým okem. Z tohoto důvodu byl testován další typ separačního média – polyakrylamid. Na okraji polyakrylamidových gelů se adsorpce neprojevovovala. V důsledku jejich vyšší hustoty se však prodloužil koncentrační čas. Proto byl jejich průměr snížen na 3 cm nebo 3,5 cm, aby čas experimentu nepřesáhnul 45 minut (detailní popis je uveden v článku<sup>7</sup>).



Obr. 2. **Optimalizovaný ETP proces.** Koncentrace proteinu v 10 ml TE činila  $0,1 \text{ mg ml}^{-1}$ . V experimentu byl použit 0,5% agarózový gel s průměrem 7,5 cm, 40 mM octan amonný pH 4 jako LE a 20 mM octová kyselina jako TE. Proces byl zachycen v 0., 15., 25. a 40. minutě. Převzato a upraveno s povolením z literatury<sup>7</sup>.

Elektrolytový systém jsme poté použili pro testování výtěžnosti a koncentračního faktoru. Vyvinutá metoda dosahovala koncentračního faktoru 29–67 a až 98% výtěžnosti. Podobné hodnoty výtěžnosti potom byly získány při aplikaci metody na biologickou matrici (moč) s přidavkem proteinu (viz obr. 3). Koncentrační faktor v tomto případě činil 32. V poslední fázi výzkumu se nám podařilo koncentrací živného kultivačního média HeLa buněk detegovat cytochrom c. Bez ETP předúpravy tato analýza nebyla možná<sup>7</sup>.

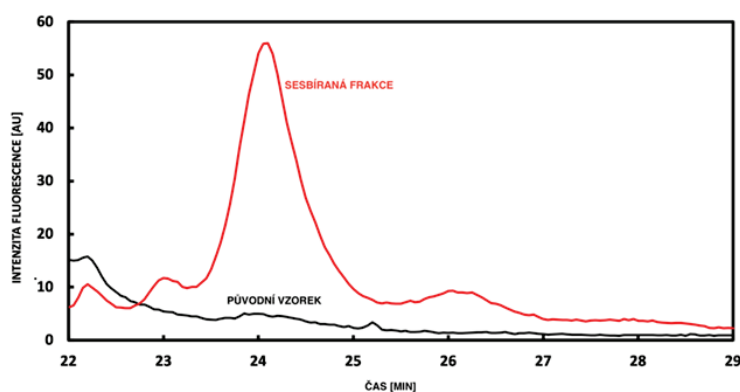
## Závěr

Naše dříve dosažené výsledky zveřejněné v pracích<sup>4–7</sup> jednoznačně dokazují, že ETP by mohla být důležitou technikou pro získávání proteinů a DNA z biologických matric. Umožňuje podstatné zakoncentrování cílových biomolekul a zároveň je schopná převést vzorek do čistší-

ho roztoku. Další předností ETP je vynikající výtěžnost, která může dosahovat i přes 90 %.

Závěrem lze uvést několik charakteristik vyvinuté metody, které ji zvyhodňují oproti ostatním preparativním technikám. Pro zpracování proteinů pomocí ETP není potřeba používat surfaktanty a další aditiva, koncentrační čas je nižší než 1 h. Přečištění a zakoncentrování proteinů pomocí afinitních a mikroextrakčních metod je obvykle více krokové. ETP je jednokrokový proces, přičemž výsledná frakce je rozpuštěná v pufru o nízké koncentraci, čehož lze v budoucnu využít při spojení ETP s hmotnostní spektrometrií a dalšími technikami.

*Tato práce byla podpořena grantem European Regional Development Fund-Project „SINGING 521 PLANT“ (No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_026/0008446) a podporována výzkumným záměrem Ústavu analytické chemie. AV ČR, v. v. i. (projekt RVO: 68081715).*



Obr. 3. CGE-LIF původního vzorku (5 ml moči s přidavkem 1 ml 1 mg ml<sup>-1</sup> roztoku standardního cytochromu c – černá křivka) a frakce po ETP procesu (červená křivka). Koncentrace standardního cytochromu c v TE činila 50 μg ml<sup>-1</sup>. Do celkového objemu 20 ml TE bylo přidáno 5 ml moči. V experimentu byl užít 6% (37,5:1 – acrylamid:bisacrylamid) polyakrylamidový gel s průměrem 3,5 cm, 40 mM octan amonný pH 4 (LE) a 20 mM octová kyselina (TE). Převzato a upraveno s povolením z literatury<sup>7</sup>.

## LITERATURA

1. Wishart D. S., Bartok B., Oler E., Liang K. Y. H., Budinski Z., Berjanskii M., Guo A., Cao X., Wilson M.: *Nucleic Acids Res.* 49, D1 (2021).
2. Aronson J. K., Ferner R. E.: *Curr. Protoc. Pharmacol.* 76, 1 (2017).
3. Thway T., Salimi-Moosavi H.: *Bioanalysis* 6, 8 (2014).
4. Foret F., Datinská V., Voráčová I., Novotný J., Gheibi P., Berka J., Astier Y.: *Anal. Chem.* 91, 11 (2019).
5. Voráčová I., Příkryl J., Novotný J., Datinská V., Yang J., Astier Y., Foret F.: *Anal. Chim. Acta* 1154, 338246 (2021).
6. Datinska V., Gheibi P., Jefferson K., Yang J., Paladugu S., Dallett C., Voracova I., Foret F., Astier Y.: *Sci. Rep.* 11, 1 (2021).
7. Hrušková H., Voráčová I., Laštovičková M., Killinger M., Foret F.: *J. Chromatogr. A* 1685, 463591 (2022).

**H. Hrušková<sup>a,b</sup>, I. Voráčová<sup>a</sup>, M. Laštovičková<sup>a</sup>, M. Killinger<sup>a,b</sup>, and F. Foret<sup>a</sup>** (<sup>a</sup>*Institute of Analytical Chemistry, Czech Academy of Sciences, Brno*, <sup>b</sup>*Department of Chemistry, Faculty of Science, Masaryk University, Brno, Czech Republic*): **Epitachophoresis – A Method for the Extraction of Biomacromolecules from Complex Biological Matrices**

Epitachophoresis is a new separation preparative technique based on discontinuous electrolyte systems ena-

bling the preconcentration of biomacromolecules from complex biological matrices. Moreover, it enables the transfer of these compounds from biological liquids, such as urine or growth medium, to a simpler solution, suitable for subsequent analyses. In our recently published papers, we focused on the use of epitachophoresis to pretreat the samples containing proteins and DNA. The technique enabled more than seventyfold preconcentration with recoveries reaching more than 90%. The preparative nature of epitachophoresis enables one to subsequently analyse the isolated biomacromolecules by various techniques including mass spectrometry, capillary electrophoresis, gel electrophoresis, ELISA analysis, or new-generation sequencing.

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

**Keywords:** DNA, proteins, epitachophoresis, concentration, matrix

### Acknowledgements

*This work was supported by grants European Regional Development Fund-Project „SINGING 521 PLANT“ (No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_026/0008446) and project RVO 68081715.*



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.



PŘÍRODOVĚDECKÁ  
FAKULTA  
Univerzita Karlova



METROHM Česká republika s.r.o.  
ve spolupráci s  
Odbornou skupinou analytické chemie  
a  
Odbornou skupinou elektrochemie  
České společnosti chemické  
vyhlašuje

## 13. ročník soutěže Cena Metrohm 2024

### A. Cena Metrohm za nejlepší publikaci mladého chemika (do 35 let).

Uděljuje se 5 cen, každá dotovaná částkou 10 000 Kč:

3 ceny v oblasti elektroanalytické chemie

1 cena v oblasti UV-VIS-NIR spektroskopie a Ramanovy spektrometrie

1 cena v oblasti kapalinové chromatografie pro separaci iontových a polárních látek

Soutěžící necht' zašlou pdf-verzi své publikace, vyšlé v roce 2023, e-mailem na adresy barek@natur.cuni.cz a peter.barath@metrohm.cz spolu se svými identifikačními údaji (příjmení, jméno, pracoviště, datum narození, případně členské číslo České společnosti chemické) do 15. ledna 2024.

### B. Cena firmy Metrohm za celoživotní přínos k rozvoji elektroanalytické chemie.

Uděljuje se jediná cena, dotovaná částkou 20 000 Kč. Nominační návrh se stručným zdůvodněním v rozsahu cca 2 stránky může zaslat jednotlivec i instituce na emailové adresy barek@natur.cuni.cz a peter.barath@metrohm.cz do 15. ledna 2024.

O udělení ceny bude rozhodovat komise ve složení: Ing. P. Barath, prof. J. Barek, prof. J. Labuda, prof. J. Ludvík, prof. L. Trnková, prof. P. Janoš, prof. P. Matějka. Rozhodnutí této komise je definitivní a nepodléhá žádnému dalšímu schvalování jinými orgány.

Vyhlášení vítězů této soutěže proběhne 7. února 2024 na slavnostním semináři firmy Metrohm Česká republika na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze. O dalších podrobnostech budeme průběžně informovat e-mailem a na www stránkách firmy Metrohm (<https://www.metrohm.com/cs-cz/>), Chemických listů a České společnosti chemické.

za Metrohm Česká republika s.r.o.

za Odbornou skupinu analytické chemie  
České společnosti chemické

Ing. Peter Barath, Ph.D.

Ředitel společnosti

prof. RNDr. Jiří Barek, CSc.  
vedoucí UNESCO laboratoře elektrochemie životního prostředí  
Katedra analytické chemie PřF UK Praha



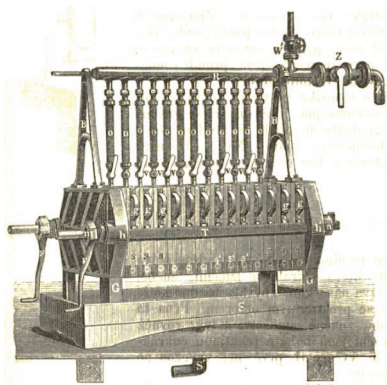


# BULLETIN

ASOCIACE ČESKÝCH CHEMICKÝCH SPOLEČNOSTÍ

Ročník 54

Číslo 4



*Jan Vincenc Diviš, Cukrovarnictví, Praha 1897*



Český komitét  
ČKČHI  
pro chemii



ČESKÁ SPOLEČNOST CHEMICKÉHO INŽENÝRSTVÍ  
CZECH SOCIETY OF CHEMICAL ENGINEERING



ČESKÁ SPOLEČNOST PRŮMYSLOVÉ CHEMIE

## Obsah – Chemické listy 2023, číslo 8 a 9

### ČÍSLO 8/2023

#### ÚVODNÍK

- Jak se ujistit, že dostanete Nobelovu cenu** 485  
Michal Lebl

#### REFERÁTY

- Využití reportérových testů při sledování buněčného stresu a toxicity** 487  
D. Čáková, N. Jelenová a J. Viktorová
- O lesním entheogenu** 495  
M. Jurášek, L. Opletal a P. Drašar
- Stabilní a radioaktivní cesium v přírodním prostředí** 501  
V. Procházka, I. Suchara, L. Thinová, J. Mizera, J. Sucharová a J. Hraníček
- L-Asparaginasy a jejich potenciál v medicíně a potravinářství** 508  
L. Pejšková, K. Loužecká, T. Podzimek a E. Benešová

#### PŮVODNÍ A METODICKÉ PRÁCE

- Stanovení organických kyselin ve speciálních pivech a nápojích na bázi piva pomocí kapilární izotachografie** 516  
S. Černá, K. Benešová a J. Martiník

#### VÝUKA CHEMIE

- Systémové úlohy vo výučbe organickej chémie** 522  
M. Ganajová, I. Sotáková a H. Čtrnáctová

### ČÍSLO 9/2023

#### ÚVODNÍK

- Konečně září, konečně chemie** 537  
P. Šmejkal

#### REFERÁTY

- Elektrochemická depozice mikro- a nano-štruktúr ľubovoľného tvaru** 539  
D. Haluška, O. Lyutakov a V. Švorčík
- O síle paňďžábského asfaltu** 547  
M. Jurášek, J. Cabalka a P. Drašar
- Elektroanalýza insulinu na nanokompozitních elektrodách** 551  
L. Trnková a I. Třísková

#### PŮVODNÍ A METODICKÉ PRÁCE

- Studium hladiny metalothioneinu v séru pacientů se zhoubným nádorem** 573  
L. Melich, M. Fořtová, B. Hosnedlová, J. Podhajský, O. Rychlý, J. Werle, K. Burešová, L. Vysloužilová, K. Dunovská, E. Klapková, K. Kotaška, J. Čepová, B. Jedličková, O. Štěpánková, R. Průša a R. Kizek

#### NOMENKLATURA A TERMINOLOGIE

- Huminové látky, charakterizace a názvoslovné doporučení** 581  
P. Drašar, J. Kozler a O. Paleta

#### CHEMICKÝ PRŮMYSL

- Parametry a potenciál revitalizace nevyužívaných průmyslových ploch (brownfieldů) pro výrobu vodíku** 585  
P. Polívka a M. Šilhan



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoli média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.

## PŘEDSEDOVÉ ORGANIZACÍ SLOVENSKÝCH CHEMIKŮ DO KONCE 20. STOLETÍ

PAVEL DRAŠAR<sup>a</sup> a VIKTOR MILATA<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika, <sup>b</sup> Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovensko  
drasarp@vscht.cz, viktor.milata@stuba.sk

Došlo 25.8.23, přijato 19.9.23.

Článek uvádí předsedy spolků slovenských chemiků od roku 1929 do konce 20. století.

Klíčová slova: předseda organizace slovenských chemiků, Bohuslav Nejedlý, Jan Buchtala, František Valentin, Samuel Stankoviansky, Juraj Gašperik, Štefan Barica, Jozef Tomko, Štefan Toma, Eberhard Borsig, Dušan Berek, Marta Sališová

Pokračujeme v novodobém dokumentování funkcí chemických společností v českých a slovenských zemích, zveřejňovaném v Chemických listech<sup>1–8</sup>.

Organizovaná spolková činnost chemiků na Slovensku začala krystalizovat na počátku roku 1927. Základ vytvořila skupina organizovaná Stanislavem Kopalem<sup>9</sup>, přednostou Státního výzkumného ústavu vinařského v Bratislavě, kterého členy byli najmě Jan Pitra, vládní rada a ředitel státních výzkumných ústavů zemědělských<sup>10</sup> (který působil v Bratislavě od roku 1920 až do ledna 1929, zřejmě proto jej Hanč udává jako prvního slovenského předsedu<sup>9</sup>), Ladislav Cícvárek, profesor obchodní akademie v Bratislavě, Jan Buchtala, přednosta Ústavu pre lekársku chémiu LF UK.

Založení slovenské „odbočky“ navrhl na sjezdu v září 1929 Jan Šatava (bývalý předseda ČSCH a předseda pražské pobočky ČSCH). Ustavující schůze „Čsl. společnosti chemické, odbočky v Bratislavě“ se konala v přednáškové síni Poľnohospodárskeho múzea v Bratislavě dne 30. listopadu 1929, za účasti 30 „interessantov“, pod předsednictvím Bohuslava Nejedlého<sup>11</sup>. Tento okamžik považuje Slovenská chemická spoločnosť za svůj organizační počátek.

Když během druhé světové války došlo k izolaci Slovenska od Čech a Moravy, tehdejší profesor průmyslové školy chemické Eugen Beseda kolem sebe soustředil několik nadšených vědců a inženýrů a vytvořil v Banské Štiavnici Spolok chemikov Slovákov. Na svém zakládajícím setkání, které se konalo 12. května 1940 v Banské Štiavnici, byl zřízen výbor Spolku. Po roce 1946 došlo k opětovnému navázání vztahů a rozvoji spolupráce s Československou chemickou společností. V roce 1950 se uskutečnilo sloučení obou spolků na sjezdu, což také zahrnovalo změnu názvu Spolku chemikov Slovákov na „Spolok chemikov na Slovensku, skupina Československej spoločnosti chemickej pre Slovensko“. Další významnou změnou ve společnosti bylo roku 1953 její přidružení k nově vytvořené Slovenské akademii věd. Přestože byla společnost

začleněna do SAV, zůstala organickou jednotkou Československé chemické společnosti.

V roce 1956 na zakládajícím sjezdu Československé společnosti chemické při ČSAV oficiálně zanikl Spolok chemikov Slovákov a jeho nástupcem se stala Slovenská skupina ČSCH při ČSAV<sup>12</sup>, později Slovenská chemická spoločnosť pri SAV.

Osnovu pro seznam předsedů slovenských chemických organizací a fotografií poskytl přehled Procházkův<sup>13</sup>.

## BOHUSLAV NEJEDLÝ



Prvým předsedou „krajinskej odbočky Československej spoločnosti chemickej v Bratislave“ v letech 1929–1935 (cit.<sup>14</sup>).

Narodil se 11. 3. 1872 v Litomyšli č. 102 do rodiny učitele a hudebníka Romana Nejedlého a Kateřiny Karolíny Barbory, rozené Bubákové<sup>15</sup>. Za manželku měl Annu Boženu, rozenou Bucharovou, a s ní měl tři děti – Karla, který zemřel po narození<sup>16</sup>, Vladimíra (JUDr.) a Libuši. Jeho bratr byl neslavně známý ministr školství Zdeněk Nejedlý<sup>17</sup>.

Studoval na gymnáziu v Litomyšli (1883–1888), technické vzdělání ukončil v roce 1894 jako Ing. chemie. V roce 1894 nastoupil jako chemik do cukrovaru v Zákolanech. Roku 1900 byl jmenován technicko-finančním adjunktem a 1910 technickým adjunktem finanční kontroly Praha, roku 1913 inspektorem technické finanční kontroly v Sarajevě, v letech 1919–1920 pracoval jako náčelník technického oddělení finančního ministerstva v Bělehradě.

Roku 1919 podal žádost o přijetí do služeb ministerstva financí čsl. vlády, na což byl informován, že může být přijat na Slovensko na Generálne finančné riaditeľstvo v Bratislavě, v té době dal přednost Praze. Začátkem 20. let se odstěhoval do Mnichova Hradiště a koncem 20. let pak do Bratislavy a konečně roku 1939 se přestěhoval s rodinou z Bratislavy zpět do Mnichova Hradiště<sup>18</sup>.

Jako vládní rada generálního finančního řízení v Bratislavě se zabýval mimo jiné problémy denaturace (viz např.<sup>19</sup>). Roku 1935 byl vyznamenán čestným členstvím ČSCH.

Zemřel 14. 3. 1944 v Mnichově Hradišti, kde je též spolu s rodiči pochován.

## JAN BUCHTALA



Na VII. řádné valné schůzi Odbočky ČSCH v Bratislavě dne 15. 2. 1936 byl zvolen předsedou odbočky<sup>20</sup> (předsedou byl do roku 1938), místopředsedou v letech 1930–1935. Byl jedním z redaktorů časopisu *Chemické listy pro vědu a průmysl* a členem Ústředního výboru ČSCH. Byl jedním z iniciátorů ustavení „krajinskej odbočky Československej spoločnosti chemickéj“ v Bratislavě<sup>21</sup>.

Johann Franz Buchtala se narodil 2. 12. 1882 v Olo-mouci do rodiny arcibiskupského úředníka Antona Buchtaly a Genovefy, rozené Weber<sup>22</sup>. S manželkou Marií Rosmann měl čtyři děti – Viktora, (Prof. Dr. Med.), Grétu, Herberta a Hansi.

Absolvent lékařské (rentgenologie) a filozofické fakulty Univerzity ve Štýrském Hradci (Graz, Dr. Med. 1903), tam též habilitovaný v oboru lékařské chemie jako soukromý docent (1913)<sup>23</sup>, kde delší dobu zastupoval prof. G. Hofmanna. Roku 1914 přešel na Ústav pro soudní lékařství. Za první světové války působil jako chirurg v zázemí i na italské frontě. Po vojně si z řady nabídek vybral Výzkumný ústav potravinářský v Praze, kde byl roku 1920 jmenován inspektorem. V roce 1921 se na doporučení profesora Formánka přihlásil na vypsání místo přednosty Ústavu pro lékařskou chemii nově vzniklé Lékařské fakulty UK v Bratislavě. Současně požádal o přenesení své „*venia docendi*“ na tuto univerzitu.

Řádný profesor a první přednosta Ústavu pro lékařskou chemii LF UK 1922–1939, děkan Lékařské fakulty UK v Bratislavě (1931–1932). Věnoval se problematice soudní chemie, toxikologie a mikroanalýze organických látek (spolu s nositelem Nobelovy ceny F. Preglem). Na analýzu pohonných látek, báňských plynů a testování jejich explozivního výkonu sestrojil originální přístroj mikrodynamograf. Kromě toho působil v redakci Bratislavských lékařských listů v letech 1923–1924, byl členem Súdnej lekárskej rady v Bratislavě, stálý soudní znalec, proděkan a děkan Lékařské fakulty UK v Bratislavě.

Po odchodu z LF UK v Bratislavě roku 1939 působil na Lékařské fakultě Masarykovy university v Brně. Po dobu Protektorátu, kdy byly zavřeny české vysoké školy, se rozhodl vrátit do Bratislavy, kde působil jako školní lékař. V roce 1948 požádal vedení LF UK o reaktivizaci, ale jeho žádost byla zamítnuta<sup>24</sup>.

Zemřel 10. 2. 1967 v Komorně, pochován je v Albrechticích<sup>25</sup>.

## FRANTIŠEK VALENTIN



František Valentin<sup>27</sup> byl předsedou odbočky v letech 1939 až 1940. Hanč jej ve svém přehledu<sup>9</sup> neuvádí.

František Valentin se narodil 5. února 1892 v Hlohovci rodičům Ludovitovi Valentinovi a Alojzii, rozené Nežatické, kteří měli ještě dvě dcery, Elenu a Margitu. Otec byl původně knihařem a později vychovatelem vězňů, matka byla v domácnosti. Mladý František vychodil lidovou a měšťanskou školu v Hlohovci. Učitelé upozornili rodiče na jeho mimořádné schopnosti a vědomosti.

Protože peněz v rodině nebylo nazbyt, až do čtvrté třídy měšťanské školy pokračoval ve studiu na klasickém gymnáziu v Trnavě. Později se přestěhoval na gymnázium v Banské Bystrici, kde promoval v roce 1911 s vyznamenáním. Na žádost své matky se F. Valentin rozhodl studovat teologii na Vídeňské univerzitě. Po ukončení studia byl v roce 1915 vysvěcen římskokatolickým knězem. V období 1915–1920 krátce působil jako kněz a kaplan v Banské Bystrici. V roce 1920, po propuštění ze stavu duchovenstva, byl zapsán jako řádný posluchač ČVUT v Praze, obor chemický. Univerzitní studia dokončil roku 1925. Po ukončení studia Ing. Valentin zůstal pracovat (1925–1935) na ČVUT jako asistent u mezinárodně uznávaného chemika profesora Emila Votočka, který orientoval nadaného a vědyčtivého absolventa do svého výzkumu syntézy, studia struktury a vlastností sacharidů. Na základě výsledků práce o enantiomeru rhamnosy posouzené ve Francouzské akademii získal v roce 1927 titul doktor technických věd. V roce 1934 se Dr. Ing. F. Valentin na základě obhájení habilitační práce „O novej anhydrogalaktóze“ stal docentem ČVUT.

V letech 1935–1939 absolvoval pobyt na Institut de Biologie Physico-Chimique v Paříži.

Představitelé autonomní slovenské vlády mu koncem roku 1938 nabídli profesuru na nově zřízené Vysoké škole technické<sup>26</sup>. Na základě jeho žádosti byl z VŠCHTI v Praze k 1. dubnu 1939 uvolněn a jeho místo profesor Votoček obsadil budoucím akademikem Otto Wichterlem.

Prof. Valentin jako člen profesorského sboru SVŠT kritizoval zvaní německých profesorů na Slovensko jako náhradu za všeobecný nedostatek vysokoškolských peda-

gogů. Tato nedůvěra souvisela s tím, že účinkování německých pedagogů chápal jako německý tlak na slovenskou kulturu<sup>27</sup>.

Byl děkanem PriF UK (1940–1942), prorektorem a rektorem UK a SVŠT (1941–1944). Věnoval se studiu sacharidů a vitamínu C. Byl profesorem lékařské chemie a přednosta Ústavu pre lekársku chémiu (1939–1945), profesorem organické chemie PriF UK a CHTF SVŠT 1940–1945, zakladatelem a prvním předsedou Slovenskej akademie vied a umení, člen redakční rady Chemického obzoru, Technického obzoru slovenského, Bratislavských lékařských listov a Chemických zvestí a dalších časopisů. Byl nositelem bulharského Řádu s hvězdou za občanské zásluhy II. stupně a slovenského Kříže za zásluhy v obraně státu.

Profesor Valentin zemřel 27. ledna 1966 v Bratislavě ve věku 74 let<sup>28</sup>.

### SAMUEL STANKOVIANSKY



Samuel Stankoviansky, první starosta (předseda) Spolku chemiků Slovákov (1940–1945). Jeho zásluhou tato společnost vykonávala svoji odbornou činnost i v období války.

Narodil se 21. listopadu roku 1907 v Kráľovciach-Krnišove pri Krupine. Jeho otec byl kovář Samuël Stankoviansky z Ladzan pri Krupine a matka Zsuzsanna Porázsan.

Vystudoval Vyššiu priemyselnú školu chemickú v Banské Štiavnici a Fakultu chemicko-technologického inžénrství Českého vysokého učení technického v Praze<sup>29</sup>.

Chemický inženýr, absolvent Chemické fakulty ČVUT v Praze (1930). Středoškolský profesor a ředitel na Priemyslovej škole chemickej v Banské Štiavnici (1934–1953), která byla později po něm pojmenována. V padesátých letech učil též na Strednej priemyselnej škole chemickej v Bratislavě.

Byl profesorem (1965) analytické chemie a první vedoucí Katedry analytické chemie PriF UK v Bratislavě (1955–1959). Na UK působil do roku 1980. Z počátku pracoval v oblasti polarografie organických analytických činidel a později rozvinul teoreticky i přístrojově metodu kapilární izotachoforézy. V roce 1960 byl vyznamenán čestným členstvím ČSCH, roku 1966 též Hanušovou medailí. Pracoval v redakci časopisu Chemické zvesti<sup>30</sup>.

Kromě aktivit v chemii založil roku 1940 s učitelem řezbářství Antonem Drexlerem družstvo Umena. Družstvo mělo za cíl hmotně podporovat vytváření uměleckých a uměleckopřmyslových hodnot.

Profesor Samuel Samo Stankoviansky zemřel v Bratislavě 6. května roku 1980.

### JURAJ GAŠPERÍK



Předseda Spolku chemiků Slovákov (1945–1950) a předseda Slovenskej chemickej spoločnosti (1950–1954). V roce 1940 spolu s Eugenom Besedom a prof. Samom Stankovianskym pomáhal založit Spolok chemiků Slovákov.

Narodil se 6. února 1906 v rodině JUDr. Jána Gašperíka, úředníka právního oddělení maďarských železnic v Budapešti, posléze hlavního rady Čs. státních železnic v Bratislavě. Matka byla Elena, rozená Hoffmannová<sup>31</sup>.

Studoval na gymnáziu v Budapešti a státní reálce v Bratislavě, v letech 1926–1930 na VUT v Brně, 1931–1934 na Přírodovědecké fakultě MU v Brně, kde souběžně s chemií studoval i astronomii. Roku 1934 absolvoval rigorózum z kosmické fyziky a zároveň byl promován jako RNDr. v oboru chemie. V roce 1936 založil spolu s Jozefom Papánkom, Kornelom Bezayom a Júliusom Krmešským Štefánikovu astronomickú spoločnosť a stal se jejím místopředsedou, později předsedou, až do jejího násilného zrušení<sup>32</sup> v roce 1951. Od roku 1935 začal pracovat v Bratislavě jako bakteriolog na Ústavu pre patologickú fyziológiu, histológiu a mikrobiológiu, od roku 1936 jako Městský smluvní chemik. Od roku 1939 působil jako vedoucí kontrolní a vývojové laboratoře v Továrni na káble, závod Gumon v Bratislavě, kde zavedl výrobu užitkových předmětů lisovaných z močovinoformaldehydových pryskyřic, které měly společný název Futurit. Po dobu SNP byl jako pracovník Povereníctva priemyslu SNR v Banské Bystrici zodpovědný za zavedení výroby a distribuci pečárenského droždí v povstaleckém území pro armádu a civilní obyvatelstvo. V roce 1943 byl přijat jako zastupující profesor na tvořící se Chemickú fakultu SVŠT, v roce 1946 byl jmenován řádným profesorem a založil a vedl Ústav chemickej technológie organických látok (později Katedru chemickej technológie organických látok) a v letech 1947–1949 byl děkanem Chemickej fakulty SVŠT v Bratislavě. Ve vědeckovýzkumné práci se zaměřoval na výzkum inhibičních procesů v technologii zpracovatelské úpravy makromolekulárních látek a technologii plastických hmot. Věnoval se inhibici volných radikálů, což vyústilo v první objev registrovaný na Slovensku (pořadové číslo 9 v Československu). Tento objev z roku 1977 nese název „Rozdielne vplyvy karcinogénov a nekarcinogénov na priebeh modelovej reakcie s radikálovým mechanizmom“. Jako první ve střední Evropě začal přednášet makromolekulární chemii a technologii, byl zakladatelem prvního odborného časopisu Chemické zvesti (později Chemical Papers) a v letech 1950–1962 jeho odpovědným a výkonným redaktorem<sup>33,34</sup>. V roce 1952 byl vyznamenán čestným členstvím ČSCH.

Zemřel 6. května 1979 v Bratislavě.

**ŠTEFAN BARICA**

Předseda SCHS (1962–1969), spoluorganizátor Chemického sjezdu v Žilině (1963) a v Nitře (1968). Zasloužil se o rozvoj a činnost Odborné skupiny potravinářské chemie SCHS. Členem SCHS byl od jejího založení.

Štefan Barica se narodil roku 1915 v rodině pekaře Štefana Barici<sup>35</sup> ve Varíně. Roku 1935 složil maturitu na Vyšší škole chemické, Štátnej čsl. priemyselnej školy v Banské Štiavnici<sup>36</sup> (obor hospodársko-chemický). Chemický inženýr, CSc., absolvent CHTF TU v Bratislavě, mikrobiolog, ředitel Výskumného ústavu liehovarov a konzervární v Bratislavě (založeného roku 1958). Zabýval se problematikou potravinářské chemie, mechanizací a automatizací v potravinářské výrobě, zejména v konzervárenství a mrazírenství. Mimo jiné rozvíjel mikrobiální výrobu vitamínu B12. Přispíval do časopisu Věda a výzkum v průmyslu potravinářském a časopisu Biologia.

Působil řadu let jako místopředseda ČSCH. V roce 1966 byl vyznamenán Hanušovou medailí ČSCH.

Zemřel 24. února 1977 v Bratislavě.

**JOZEF TOMKO**

Předseda Slovenskej chemickéj spoločnosti po šest funkčních období (1969–1988). Byl členem Spolku chemikov Slovákov od roku 1948, členem vzdělávací rady od roku 1950, od roku 1989 čestný předseda SCHS. V letech 1973–1989 byl též místopředsedou Československé chemické společnosti.

Jozef Tomko se narodil 12. prosince 1921 v Pavlovej Vsi, malé obci nedaleko Liptovského Mikuláše, kde v roce 1941 absolvoval reálné gymnázium. Následně nastoupil na vysokoškolské studium na Slovenskej technickej univerzite, Odbor chemicko-technologického inžinierstva, kde úspěšně absolvoval roku 1947 a roku 1950 tamtéž obhájil titul doktora technických věd (Dr.). V roce 1957 na Slovenskej akademii vied získal hodnost CSc. a roku 1969 titul DrSc. Po skončení vysokoškolského studia postupně pracoval ve Štátnych výskumných ústavoch poľnohospodárskych, Výskumnom ústave lučebných a farmaceutických závodov, Výskumnom ústave pre farmáciu a biochémiu a až do roku 1973 jako vedoucí vědecký pracovník Chemického ústavu SAV a souběžně též na Farmaceutickej fakulte Univerzity Komenského v Bratislavě (FaF UK), kde byl roku 1973 jmenován profesorem farmakognózie. Profesor Tomko byl od roku

1971 externím vedoucím Katedry farmakognózie a botaniky a od roku 1974 tuto funkci vykonával až do konce akademického roku 1986/1987 jako zaměstnanec FaF UK. V letech 1976–1980 byl proděkanem Fakulty pro vědeckou činnost. Do důchodu odešel v roce 1990.

Pracoval v chemii přírodních látek a léčiv, zejména v oblasti opiátových, steroidních a pyrolinových alkaloidů, byl členem divize organické chemie IUPAC (1973–1977). Zasloužil se o činnost společnosti v odborných skupinách, o členstvo SCHS ve Federaci evropských chemických společností (FECS, 1970), o uspořádání celostátních chemických sjezdů v Banské Štiavnici a ve Vysokých Tatrách. Roku 1981 byl vyznamenán čestným členstvím ČSCH a roku 1966 též Hanušovou medailí ČSCH a mnoha dalšími cenami<sup>37</sup>.

Prof. Tomko zemřel 20. února 2014 a je pochován v Bobrovci<sup>38</sup>.

**ŠTEFAN TOMA**

Štefan Toma<sup>39</sup> působil jako vědecký tajemník (1972–1988) a předseda Slovenskej chemickej spoločnosti (1988–1990). Zasloužil se podstatnou měrou o rozvoj činnosti odborné skupiny Organická chemie.

Profesor Štefan Toma se narodil 11. září 1937 ve Velkých Uhercích, na středním Slovensku<sup>40</sup>. Po absolvování středoškolského studia

v Prievidzi začal v roce 1955 studovat chemii na PriF UK v Bratislavě, kde studium v roce 1960 ukončil. Přijal místo asistenta na Katedře organické chemie PriF UK. Současně pokračoval v doktorandském studiu v oboru ferrocenových sloučenin pod vedením profesora Mikuláše Furdíka. Disertační práci obhájil roku 1966. V následujících letech pokračoval v práci v oboru organokovové chemie. Roku 1969 se habilitoval v oboru organické chemie. V letech 1970–1971 pracoval jako postdoktorandský spolupracovník u profesora Pausona na Strathclyde University v Glasgow. Velký doktorát obhájil roku 1982. Od roku 1983 byl řádným profesorem organické chemie na Katedře organické chemie PriF UK. Během své produktivní profesionální kariéry se zajímal také o sonochemii, fotochemii, mikrovlnné ozařování, iontové kapaliny a stereoselektivní katalýzu přechodovými kovy a organokatalýzu. Svě výjimečné organizační schopnosti uplatnil Štefan Toma jako vedoucí Katedry organické chemie (1976–1995, 1999–2003), proděkan (1981–1986) a děkan UK FNS (1986–1991). Vědecká, pedagogická a organizační činnost profesora Tomy byla několikrát oceněna prestižními medaillemi, např. Zlatou medailí PriF UK, Zlatou medailí University Komenského, Zlatou medailí Slovenské chemické společnosti nebo roku 1985 Hanušovou medailí ČSCH<sup>41</sup>. RSC uznala jeho odborné kvality a udělila mu titul Chartered Chemist. V roce 2013 mu PriF UK udělila titul Emeritný profesor.

**EBERHARD BORSIG**

Předseda SCHS (1991–1996), aktivně udržoval kontakty s Českou chemickou společností.

Prof. Eberhard Borsig se narodil 28. listopadu 1936 v Humenném.

Chemický inženýr, absolvent CHTF SVŠT v Bratislavě (1960), vedoucí vědecký pracovník Ústavu polymérov SAV v Bratislavě (DrSc. 1991), profesor CHTF STU (1998), člen

Evropské polymerové federace (EPF).

Prof. Eberhard Ebo Borsig byl do roku 2001 vedoucím Oddelenia reakcií polymérov na Ústavu polymérov SAV. Byl odborníkem v oblasti přípravy a modifikací polymerů, jmenovitě v postupech přípravy polymerů radikálovou polymerací, byl spoluautorem odhalení principu živé radikálové polymerace, odborníkem na očkování polymerů v tuhé fázi, síťování polyolefinů a přípravu vzájemně proniknutých sítí za účelem zlepšení mechanických, fyzikálních a užitných vlastností polymerů. Zabýval se přípravou polypropylenových nanokompozitů a jejich využitím na přípravu vláken s novými vlastnostmi se sníženou hořlavostí, zvýšenou světelnou stabilitou aj.<sup>42</sup>

Byl oceněn roku 2010 prestižní medailí H. F. Marka Rakouského výzkumného ústavu chemie a technologie a roku 2001 Hanušovou medailí ČSCH. Kromě toho získal bronzovou (1980), stříbrnou (1986) a zlatou medaili (1997) SCHS, stříbrnou medaili Dionýza Štúra od předsednictva SAV (1986), Národní cenu SR (1989). Roku 2008 byl jmenován emeritním profesorem STU.

Zemřel 29. dubna 2022 v Bratislavě.

**DUŠAN BEREK**

Dušan Berek<sup>43</sup> působil jako předseda SCHS (1996–1998 a 2003–2004). Jako předseda Národního komitétu chémie IUPAC pre Slovensko se zasloužil o rozšíření mezinárodních kontaktů Slovenskej chemickéj spoločnosti.

Narodil se 6. července 1938 v Zlatých Moravcích.

Chemický inženýr, absolvent CHTF SVŠT v Bratislavě (1960), vedoucí vědecký pracovník Ústavu polymérov SAV v Bratislavě (DrSc. 1991), docent CHTF STU (1999). Pracoval v odboru makromolekulární chemie a separačních metod, člen výboru FECS (1993–1996). Dušan Berek roku 1999 získal ocenění Vedec roka, v roce 2002 se stal Technológon roka. V roce 2004 byl zvolen za člena Učenej spoločnosti Slovenska.

Roku 1999 bol vyznamenaný Hanušovou medailí ČSCH, získal i řadu ocenění a medailí SCHS.

Zemřel 28. června 2022 v Bratislavě.

**MARTA SALIŠOVÁ**

Předsedkyně SCHS (1999–2000), předsedkyně Asociácie slovenských chemických a farmaceutických spoločností, organizátorka chemických olympiád a práce s mladými absolventy chemického studia na PriF UK. Zasloužila se podstatnou měrou o práci a rozvoj odborné skupiny SCHS Výučba chémie. Marta Sališová byla členkou Slovenskej chemickéj spoločnosti

od roku 1971. Jako členka předsednictva SCHS byla v roce 1997 zvolena za 1. místopředsedkyni.

Její rodným městem byl roku 1945 Liptovský Mikuláš-Okoličné, kde se narodila do rodiny Josefa a Marie, rozené Wallové, též z Okoličné.

Absolventka PriF UK v Bratislavě (1970). Vědeckou kariéru začala na Katedre organické chémie Přírodovědecké fakulty Univerzity Komenského v Bratislavě, kde pracovala od roku 1970 jako asistentka a odborná asistentka a od roku 1993 povýšila na docentku organické chemie. Její učitelské aktivity byly zaměřeny především na přednášky a semináře z organické chemie a stereochemie a na vedení diplomových prací a na školení doktorandů. Ve své vědecké práci se věnovala problematice organokovových sloučenin, hlavně derivátů ferrocenu, stereoselektivní syntéze, resp. syntéze potenciálních antiangiogenik, a chirálním sloučeninám.

Odborná a organizační práce Marty Sališovej byla vícekrát odměněná. Byla držitelkou Stříbrné medaile UK (1998) a Stříbrné medaile UK PriF UK (2005). Za dlouholetý přínos SCHS jí byla udělena Zlatá medaile (2006) a čestné členství (2009). V roce 2003 jí ČSCH udělila čestné členství „za zásluhy o chemii a Českou společnost chemickou“ a v roce 2012 Cenu Viléma Baura za významný přínos k vysokoškolské výuce chemie a organizování účasti mladé generace slovenských a českých chemiků na odborných akcích, zejména Chemické olympiádě. Byla členkou redakční rady časopisu ChemZi a před tím více roků jeho předchůdce Bulletinu SCHS<sup>44</sup>. Byla zástupkyní SCHS v ECTN.

Tragicky zahynula<sup>45</sup> dne 7. 11. 2016, kdy podle své dobré duše pomáhala druhým.

**LITERATURA**

1. Řápková R., Drašar P.: Chem. Listy 116, 631 (2022).
2. Drašar P.: Chem. Listy 115, 506 (2021).
3. Kratochvíl B., Drašar P.: Chem. Listy 115, 498 (2021).
4. Drašar P.: Chem. Listy 117, 41 (2023).

5. Drašar P., Chuchvalec P., Bělohav Z.: Chem. Listy 116, 614 (2022).
6. Drašar P.: Chem. Listy 117, 48 (2023).
7. Drašar P.: Chem. Listy 117, 244 (2023).
8. Drašar P.: Chem. Listy 117, 238 (2023).
9. Hanč O.: *100 let v Československé společnosti chemické, její dějiny a vývoj 1866–1966*. Academia, Praha 1966.
10. Anonym: Chem. Listy Vedu Prum. 37, 174 (1943).
11. Kopal S.: Chem. Listy Vedu Prum. 24, 19 (1930).
12. <http://archiv.sav.sk/inventare/inventar.php?lang=en&id=72&sig=uvod>, staženo 1. 11. 2022.
13. Procházka M.: <https://schems.sk/predsedia-schs/>, staženo 18. 9. 2023.
14. <http://vademecum.mua.cas.cz/vademecum/permalink?xid=90075F1AE4A011E78DB34437E66A1E83&scan=1#scan1>, staženo 1. 11. 2022.
15. <http://88.146.158.154:8083/000-05402.zip>, strana CZEC0004D\_5402\_M\_00053.JPG, staženo 1. 11. 2022.
16. <https://www.myheritage.cz/research/collection-1/myheritage-rodokmeny?itemId=798025001-1-500059&action=showRecord&recordTitle=Bohuslav+Nejedl%C3%BD>, staženo 1. 11. 2022.
17. <https://www.myheritage.cz/research/collection-1/myheritage-rodokmeny?itemId=624102521-1-506180&action=showRecord&recordTitle=Bohuslav+Nejedl%C3%BD>, staženo 1. 11. 2022.
18. Kábová H.: soukromé sdělení.
19. Nejedlý B.: Chem. Listy Vedu Prum. 31, 72 (1937).
20. Kopal S.: Chem. Listy Vedu Prum. 30, 124 (1936).
21. Čársky J.: Naša univerzita 65, január, 38 (2019).
22. <https://digi.archives.cz/da/permalink?xid=be97f678-f13c-102f-8255-0050568c0263&scan=c134a1c934a9427f9d9f265b1e4c47cd>, staženo 1. 11. 2022.
23. [https://www.academia.edu/16713323/Database\\_Graz\\_Medical\\_Faculty\\_1863\\_1918](https://www.academia.edu/16713323/Database_Graz_Medical_Faculty_1863_1918), staženo 1. 11. 2022.
24. Čársky J., Heřmanová D.: ChemZi 4, 56 (2009).
25. <https://www.myheritage.cz/research/collection-1/myheritage-rodokmeny?itemId=582859431-1-500023&action=showRecord&recordTitle=Johann+Franz+Buchtala%2C+Opapa>, staženo 1. 11. 2022.
26. Izakovičová M.: <https://www.vedatechnika.sk/SK/enoviny/PisaliDejinyVedy/Stranky/Jeden-z-prvych-predstavitelov-modernej-slovenskej-chemie.aspx>, staženo 1. 11. 2022.
27. Soják L., Sališová M., Čársky J.: *120. výročie narodenia chemika, pedagoga a organizátora slovenského vysokého školstva a vedy prof. Ing. Dr.techn. Františka Valentina (1892-1966)*, PôF UK Bratislava, 2012; <https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/fakulta/Prof-Frantisek-Valentin-autor-textu-L-Sojak-2012.pdf>, staženo 1. 11. 2022.
28. Uher M.: Chem. Papers 46, 141 (1992).
29. <https://reginazapad.rtvv.sk/clanky/vyroci-historia/224283/spomienka-na-profesora-samuela-stankovianskeho>, staženo 1. 11. 2022.
30. Hutta M.: ChemZi 16, 35 (2020).
31. [https://www.wikiwand.com/sk/Juraj\\_Ga%C5%A1per%C3%ADk](https://www.wikiwand.com/sk/Juraj_Ga%C5%A1per%C3%ADk), staženo 1. 11. 2022.
32. Uher M., Bakoš D., Hudec I.: ChemZi 2, 38 (2006).
33. [https://sk.wikipedia.org/wiki/Juraj\\_Ga%C5%A1per%C3%ADk](https://sk.wikipedia.org/wiki/Juraj_Ga%C5%A1per%C3%ADk), staženo 1. 11. 2022.
34. Kolektiv: Chem. Zvesti 20, 95 (1966).
35. [https://www.varin.sk/download\\_file\\_f.php?id=662583](https://www.varin.sk/download_file_f.php?id=662583), staženo 1. 11. 2022.
36. Anonym: Výročná správa Štátnej Čsl. priemyselnej školy v Banskej Štiavnici za školský rok 1934–35. Grohman, Banská Štiavnica 1935.
37. Uher M.: ChemZi 10, 19 (2014).
38. <https://www.prolekare.cz/en/journals/czech-and-slovak-pharmacy/2021-6-11/spomienka-na-osobnosti-farmakognozie-129710?hl=cs>, staženo 1. 11. 2022.
39. <https://www.researchgate.net/profile/Stefan-Toma-2>, staženo 1. 11. 2022.
40. Zahradník P.: ChemZi 3, 346 (2007).
41. Šebesta R., Putala M.: Chem. Papers 67, 1 (2013).
42. <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=773>, staženo 1. 11. 2022.
43. Anonym: J. Anal. Bioanal. Tech. 9, 40 (2018).
44. Gyepesová D.: ChemZi 12, 6 (2016).
45. Drašar P.: Chem. Listy 111, 88 (2017).

**P. Drašar<sup>a</sup> and V. Milata<sup>b</sup>** (<sup>a</sup> University of Chemistry and Technology, Prague, Prague, Czech Republic, <sup>b</sup> Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia): **Chairmen of Slovak Chemists' Associations until the End of the 20<sup>th</sup> Century**

The article lists the presidents of Slovak chemists' associations from 1929 to the end of the 20th century.

**Keywords:** Presidents of Slovak chemists' organizations, Bohuslav Nejedlý, Jan Buchtala, František Valentin, Samuel Stankoviansky, Juraj Gašperík, Štefan Barica, Jozef Tomko, Štefan Toma, Eberhard Borsig, Dušan Berek, Marta Sališová



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.



## BIOPLASTY POHLEDEM VYSOKOŠKOLÁKŮ A VYSOKOŠKOLAČEK

MARTINA NOVÁ a PAVLA ŠMEJKALOVÁ

Ústav technologie vody a prostředí VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika  
mar.tina.nova@email.cz, pavla.smejkalova@vscht.cz

Došlo 22.5.23, přijato 15.9.23.

Studie se zaměřuje na problematiku bioplastů ze společenského hlediska. Dotazovanou skupinou byli studenti a studentky bakalářských a magisterských programů Vysoké školy chemicko-technologické v Praze (VŠCHT Praha), cílem bylo zmapovat povědomí o bioplastech v rámci skupiny vysokoškolských studentů s chemickým zaměřením v České republice. Zároveň byl sledován vliv pohlaví a environmentálního vzdělání na rozhodování. Ukázalo se, že pohlaví ovlivňuje rozhodování v environmentálních otázkách, ženy přikládají větší váhu udržitelnosti a bezodpadovosti bioplastů, zároveň také jejich možnému pozitivnímu vlivu na klimatickou změnu a snížení znečištění vod. Muži jsou v rozhodování pragmatičtější, upřednostňují více materiálovou a ekonomickou stránku. V případě vlivu odborného vzdělání vykazovali studenti environmentálních oborů větší tendenci k udržitelnému chování, nicméně s ohledem na malý vzorek environmentálních respondentů je třeba tuto hypotézu potvrdit dalším výzkumem.

Klíčová slova: bioplasty, plastové znečištění, gender, názor společnosti

### Úvod

Plastové znečištění je žhavým tématem již mnoho let a stále nechladne. Za rok 2021 bylo na světě vyprodukováno 390,7 milionů tun plastů; pro srovnání nárůstu jejich obliby v posledních desítkách let lze uvést roční výrobu z roku 1950, která činila pouze 1,5 milionu tuny (cit.<sup>1</sup>).

Samotná produkce by nebyla problémem, nicméně vstup plastů do životního prostředí už ano, zejména se pak výskyt plastů skloňuje v souvislosti s hydrosférou. Za hlavní dodavatele plastového znečištění do moří a oceánů jsou považovány řeky, kterými jsou plasty transportovány<sup>2</sup>. Dle výzkumů se však pouze 2 % plastů v řekách dostane až do slaných vod, většina z nich setrvává v tocích, zachytí se v záplavových územích nebo skončí ve sladkovodních útvarech<sup>3</sup>.

Makroplasty přímo ohrožují vodní živočichy, kteří je mohou pozřít nebo se do nich zachytit<sup>4,5</sup>, rizikem je ale také vznik mikroplastů. Ty jsou problémem pro menší organismy, ve kterých se mohou kumulovat, ohrožovat jejich životaschopnost a být transportovány dále potravním řetězcem<sup>6</sup>. Podle aktuálních výzkumů není pravděpodobné, že mikroplasty představují riziko pro lidské zdraví, nicméně s narůstajícím plastovým znečištěním narůstá i jejich koncentrace, a v důsledku toho může být v budoucnu práh nepříznivých biologických účinků překročen<sup>7</sup>. Navíc výskyt mikroplastů byl již potvrzen jak v lidské stravě<sup>8,9</sup>, tak přímo v krvi<sup>10</sup>.

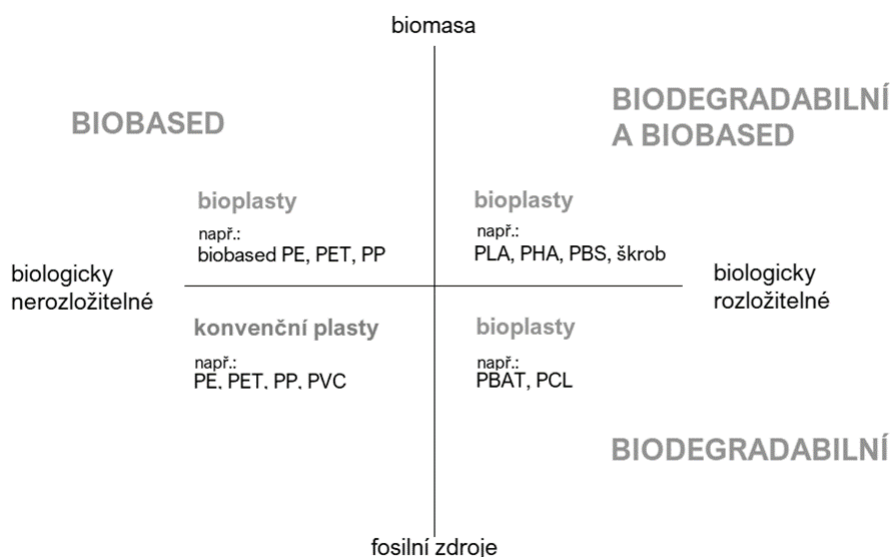
Do boje proti plastovému znečištění se proto začínají více vkládat zákonodárci Evropské unie, kteří chystají legislativu v rámci Green Dealu, která by do budoucna

měla významně zasáhnout plastový trh. Prvním krokem je ustanovení směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/904 (cit.<sup>11</sup>), která byla v České republice implementována v podobě zákona č. 243/2022 Sb., o omezení dopadu vybraných plastových výrobků na životní prostředí<sup>12</sup>.

Při snaze snižovat plastovou zátěž životního prostředí je klíčové omezit produkci odpadu. To lze několika způsoby – eliminací nadbytečných produktů, jako jsou např. brčka, maximální recyklací materiálu, a další variantou je pak produkce biologicky rozložitelných materiálů. Ty mohou být likvidovány kompostováním, v bioplynových stanicích, popřípadě ve spalovnách. Pokud se přesto dostanou do životního prostředí, nepředstavují díky své rozložitelnosti v podstatně kratším čase takový problém jako konvenční plasty.

Obr. 1 definuje rozdělení plastů podle jejich původu a rozložitelnosti. Plasty jsou vyráběny jak z fosilních, tak z obnovitelných zdrojů (tzv. biobased). Aby mohl být materiál označen za „biobased“, musí obsah uhlíku z obnovitelných zdrojů činit minimálně 20 % (cit.<sup>14</sup>). Za bioplasty jsou pak považovány ty plasty, jejichž původem je biomasa, nebo plasty biodegradabilní. Znamená to, že rozložitelné bioplasty mohou být produkovány i z fosilních zdrojů; zároveň však existuje kategorie „biobased“ bioplastů bez schopnosti podlehnout biologickému rozkladu<sup>13</sup>. Mezi biomasu, ze které lze bioplasty vyrábět, patří například škrob, kukuřice, cukrová třtina nebo celulóza.

Potřeba řešit problematiku plastů a plastového znečištění není nutná pouze z pohledu výzkumu, ale také osvěty společnosti. V případě, že chceme omezovat produkci plastů a přecházet na alternativní materiály, musí existovat ochota



Obr. 1. Schéma zobrazující kategorie plastů v závislosti na dělení podle rozložitelnosti a původu materiálu<sup>13</sup>

tyto materiály kupovat a používat je. Ví vůbec společnost, co to je, a jak to funguje? Jsou lidé vůbec ochotni si bioplastový příbor koupit? A co ovlivňuje jejich rozhodování?

Pohled evropské společnosti na plastové znečištění moří a oceánů řešila studie z roku 2022 (cit.<sup>15</sup>), která se zabývala rozdíly mezi jednotlivými přímořskými národy. Většina respondentů uvedla, že se setkala s plastovým odpadem ve vodě. Mezi nejčastější lokality, kde lidé zaznamenali toto znečištění, patřila Francie, Velká Británie, Itálie, Nizozemsko a Švédsko.

Nejvyšší obavy z kontaminace plasty vyjádřili Řekové, kteří se zároveň nejvíce obávají o mořské živočichy i dopad na lidské zdraví. Také jsou nejvíce ochotni připustit, že za plastové znečištění nese zodpovědnost člověk jako jednotlivec, tedy i oni osobně. Tento postoj může být důsledkem důležitosti cestovního ruchu pro Řecko.

Nejnižší znepokojení ze sledovaných národů vyjádřili Dánové, Nizozemci a Švédové, přičemž Nizozemsko i Švédsko patřily mezi země, kde si lidé povšimli znečištění prostředí plasty nejčastěji. Zároveň Nizozemci je ve srovnání s ostatními národy nepovažují za významné riziko pro živočichy či zdraví člověka. Kromě toho – společně s Itálií – projevili i nejmenší sebereflexi ohledně přispívání k plastovému znečištění člověkem jako jednotlivcem, na rozdíl od Dánů, kteří i přes nižší obavy přiznali, že za plastové znečištění mohou sami.

To, jak vnímáme plastové znečištění, může ovlivňovat řada faktorů. Jak bylo zmíněno výše, rozdíly mohou být patrné mezi jednotlivými národy, s čímž souvisí i životní styl, ekonomická situace nebo geografické podmínky, lze však předpokládat také rozdílné názory mezi pohlavími, skupinami lidí s odlišným stupněm či druhem vzdělání nebo různými věkovými kategoriemi.

Genderová hypotéza z roku 1997 (cit.<sup>16</sup>), která říká, že ženy jsou obecně vnímavější na environmentální problémy, byla potvrzena v případě průzkumu v Šanghaji<sup>17</sup>. Kromě plastového znečištění vnímají ženy citlivěji i problematiku emisí skleníkových plynů, nicméně autoři uvádějí, že výsledky v tomto případě mohou být ovlivněny mírou environmentálního vzdělání respondentů.

Stejně tomu tak je v Evropě. Studie z roku 2021 (cit.<sup>18</sup>) ukazuje, že mezi Evropany jsou ve snaze omezit používání plastů aktivnější ženy než muži. Odmítají ve větší míře jednorázové plastové produkty, jako jsou brčka nebo příbory, a používají vlastní nádoby na pití. Hypotézu vlivu pohlaví na vnímání problematiky životního prostředí potvrzuje i australská studie<sup>19</sup>. Jak muži, tak ženy považovali problém plastového znečištění za velký, více žen však označilo závažnost maximální možnou bodovou hodnotou.

Co se týče věku, výzkum na školách ve Spojených arabských emirátech<sup>20</sup> ukazuje, že problémy plastového znečištění si uvědomuje většina mladé populace, zároveň však zmiňuje, že blíže k pro-environmentálnímu chování mají děti rodičů s vyšším vzděláním.

Soustředíme-li se na bioplasty z pohledu spotřebitele, zjistíme, že se zde odráží velký problém nedostatečné informovanosti. V evropské studii publikované před zákazem jednorázových plastových výrobků v roce 2021 (cit.<sup>18</sup>) hned 93 % respondentů uvedlo, že informace o bioplastech jsou zcela nedostatečné. Podobně na tom byli Australané<sup>21</sup>, kteří si rovněž stěžovali na nízkou informovanost, avšak vykazovali pozitivní vnímání biologicky rozložitelných materiálů.

Rozložitelnost materiálů je lákavá také pro Němce, naopak Francouzi nebo Američané dávají přednost tako-

vému plastovému produktu, který je recyklovatelný<sup>22</sup>. Nizozemci v tomto směru jdou ještě dál, ti se dokonce v případě zachování kvality a funkčnosti výrobku nezdráhají připlatit za produkty vyrobené z plastů vylovených z oceánů<sup>23</sup>. Z rozdílů mezi kulturami je zřejmé, že pro každou zemi může být vhodná jiná nabídka trhu.

Cílem naší práce bylo prozkoumat povědomí veřejnosti o bioplastech v České republice na vzorku vysokoškolských studentů chemického zaměření a zjistit, zda je rozdíl mezi rozhodováním mužů a žen v problematice týkající se životního prostředí, a jestli na rozhodování má vliv environmentální vzdělání jedince.

## Experimentální část

Pro náhled do společnosti a jejího vnímání bioplastů byl vytvořen dotazník, který se snažil ověřit povědomí o tématu bioplastů a analyzovat faktory rozhodování, které vedou ke koupi nebo používání bioplastového produktu.

Cílovou skupinou respondentů byli studenti a studentky VŠCHT Praha v bakalářských a magisterských programech napříč všemi fakultami. Byl vytvořen online dotazník, který byl zmíněné skupině studentů rozeslán.

Dotazovaná skupina byla zvolena tak, aby zahrnovala statisticky významný vzorek respondentů s rovnoměrným zastoupením mužů a žen, zároveň představovala věkově homogenní skupinu. Současně lze pozorovat vliv environmentálního vzdělání při porovnání studentů Fakulty technologie ochrany prostředí (FTOP) a ostatních studentů VŠCHT Praha, tedy z Fakulty chemické technologie (FCHT), Fakulty potravinářské a biochemické technologie (FPBT), Fakulty chemicko-inženýrské (FCHI) a Ústavu ekonomiky a managementu (ÚEM).

Dotazník zodpovědělo celkem 629 studentů, z toho 39 % tvořili muži a 61 % ženy. Zastoupení jednotlivých fakult bylo následující: FTOP 9 %, FCHT 28 %, FPBT 31 %, FCHI 25 %, ÚEM 7 %. S ohledem na malé množství studentů FTOP bylo v konečném počtu zastoupení studentů s environmentálním vzděláním 9 %, případné volitelné předměty environmentálního charakteru byly zanedbány.

Otázky byly dvou typů. První spočíval v zaškrtnutí preferenčních odpovědí na modelové situace, u každé otázky mohl respondent zaškrtnout jednu a více odpovědí. Druhý typ otázek sledoval míru důležitosti určitého faktoru pro dotazovaného na škále od 1 do 5, kdy 1 značí minimální a 5 maximální důležitost.

V rámci situačních otázek byl sledován vývoj rozhodování a důležitost jednotlivých kritérií v následujících případech:

- Situace 1 představovala volbu mezi bioplasty a klasickými plasty na jednorázové použití. Mezi hlavní kritéria rozhodování patřila cena produktu, jeho vzhled, celková udržitelnost, a produkce nerozložitelného odpadu.
- Situace 2 sledovala volbu produktu pro opakované použití: bioplast vs. klasický plast. Hlavní sledovaná

kritéria byla cena, vzhled, celková udržitelnost, tepelná odolnost a životnost.

- Situace 3 zjišťovala preference respondentů mezi alternativními materiály na jednorázové použití, jako jsou bioplast, papír nebo dřevo.

Druhou sekcí byly otázky, které sledovaly důležitost jednotlivých vlastností bioplastového produktu pro respondenta:

- shodné materiálové vlastnosti bioplastu s konvenčními plasty (tepelná odolnost, odolnost vůči nárazu, životnost, pevnost, pružnost),
- snížení dopadu klimatické změny,
- omezení plastového znečištění moří a oceánů,
- rychlost rozkladu bioplastů ve srovnání s konvenčními plasty.

Sledován byl obecný pohled na problematiku vybrané věkové skupiny, kterou jsou studenti vysoké školy technického zaměření, současně byly porovnány rozdíly v rozhodování v závislosti na pohlaví a na environmentálním vzdělání.

Pro vyhodnocení situačních otázek bylo zvoleno použití relativních četností, které dokážou ilustrovat preferenční zastoupení jednotlivých kritérií a volených materiálů mezi sledovanými skupinami respondentů.

Pro vyhodnocení významnosti charakteristických vlastností bioplastů mezi sledovanými skupinami respondentů byl zvolen neparametrický oboustranný Mann-Whitneyův U-test s hladinou významnosti  $\alpha = 0,05$ . Tento test byl zvolen z toho důvodu, že se jedná o ordinální data, u kterých nelze předpokládat normální rozdělení sledovaného znaku. Pro provedení U-testu byl použit online kalkulátor na webových stránkách Social Science Statistics.

## Výsledky a diskuse

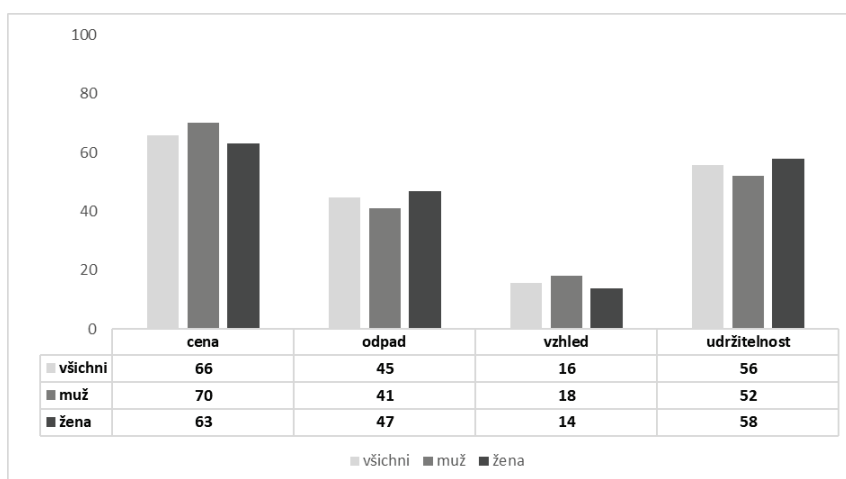
Situační otázky byly vyhodnoceny metodou relativních četností pro celou skupinu respondentů, dále pak zvlášť pro pohlaví a fakultu. Druhá sekce byla také vyhodnocena pro celou skupinu, pohlaví a fakultu. Respondenti hodnotili kritéria na škále důležitosti. Jejich hodnocení jsou v tabulkách zastoupena průměrnými hodnotami. Pro vliv pohlaví a environmentálního vzdělání bylo provedeno statistické vyhodnocení pro zjištění významnosti.

### Studenti VŠ chemického zaměření

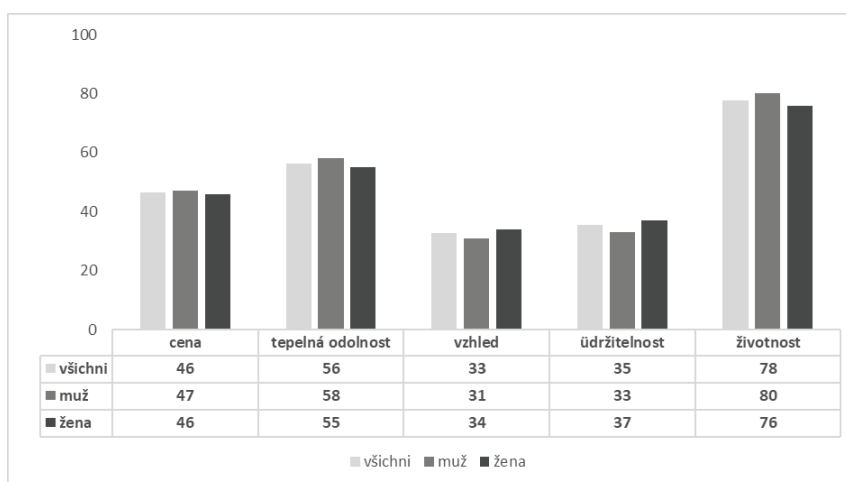
Na obr. 2 je vidět, že hlavním rozhodujícím kritériem pro volbu jednorázového produktu je cena, což lze přičíst skromnějším finančním možnostem studentů. Zároveň více než polovina studentů se vyslovila pro faktor udržitelnosti, což svědčí o uvědomování si environmentální problematiky.

Tento efekt se zvyrazňuje na obr. 3 při volbě produktu pro opakované použití. Oproti ceně studenti akcentují životnost materiálu, z čehož lze usoudit, že je problematika zajímavá a hodnotí možné následky.

Při volbě alternativního materiálu pro jednorázové použití upřednostňují bioplasty (64 %), o 12 % méně re-



Obr. 2. Relativní četnosti kritérií rozhodování spotřebitele při volbě mezi plastem a bioplastem u produktu pro jednorázové použití se zaměřením na pohlaví respondentů



Obr. 3. Relativní četnosti kritérií rozhodování spotřebitele při volbě mezi plastem a bioplastem u produktu pro opakované použití se zaměřením na pohlaví respondentů

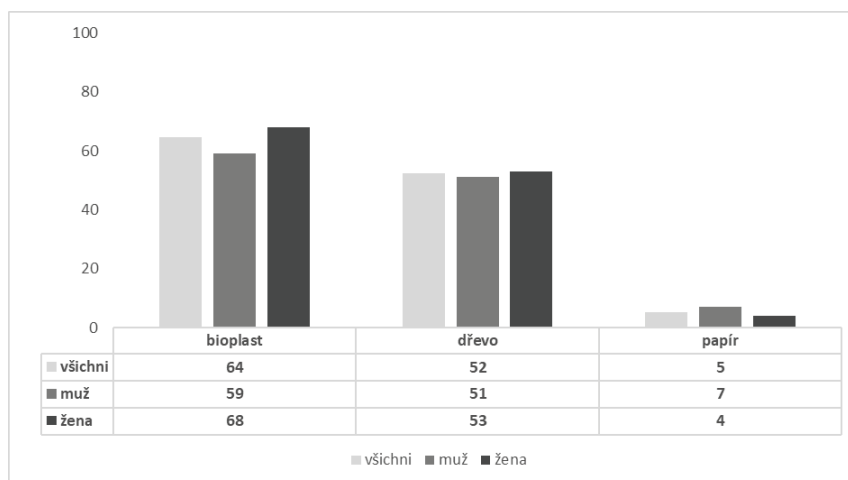
spondentů preferuje dřevo, nejnižší podporu získal papír. Tuto alternativu by pro jednorázový produkt zvolilo pouze 5 % dotázaných v důsledku jeho nízké trvanlivosti během používání, nasákavosti a nepříjemné chuti. Pachuť byla i hlavním zmiňovaným negativem u dřevěných výrobků, nicméně respondenti oceňovali jejich pevnost a vzhled (obr. 4).

Důkaz, že mladá generace nebere problémy životního prostředí na lehkou váhu, přináší tab. I. Všechny vlastnosti týkající se environmentálního přínosu bioplastů hodnotili studenti na bodové škále nejčastěji dvěma nejvyššími známkami. Největší důraz byl kladen na znečišťování vod plastovým odpadem. Zde lze předpokládat, že to je v důsledku mediální osvěty v dané problematice.

Tabulka I

Průměrná hodnota důležitosti charakterového znaku bioplastů pro všechny respondenty a jednotlivá pohlaví

Znak	Všichni	Muž	Žena
Materiálové vlastnosti	3,7	3,7	3,7
Klimatická změna	4,3	4,1	4,5
Omezení znečištění vod	4,6	4,5	4,7
Rozložitelnost	4,4	4,3	4,5



Obr. 4. Relativní četnosti volby typu materiálu pro produkt na jednorázové použití se zaměřením na pohlaví respondentů

### Pohlaví

První situační otázku hodnocenou vzhledem k faktoru pohlaví znázorňuje obr. 2. Je patrný trend, který potvrzuje, že ženy se více přiklánějí k environmentálním hlediskům, jako je omezování produkce odpadu a udržitelnost. Muži oproti tomu vykazují vyšší tendenci k zohlednění materiální stránky, tj. zejména ceny. Cena však byla nejvýznamnějším rozhodovacím faktorem pro obě pohlaví.

Při výběru produktu na opakované použití (viz obr. 3) je vidět výrazný pokles významu ceny oproti jednorázovému produktu. Hlavním motivem pro koupi jsou u obou pohlaví materiálové vlastnosti týkající se trvanlivosti produktu, ať je to tepelná odolnost nebo celková životnost. Rozdíly mezi pohlavími zde nejsou tak výrazné, nicméně u žen lze pozorovat nárůst preferencí udržitelnosti produktu, což opět potvrzuje, že ženy mají vyšší tendenci k ochraně životního prostředí.

Ve volbě alternativního materiálu pro jednorázové použití (viz obr. 4) pomyslně zvítězily pro obě kategorie bioplasty. U obou pohlaví propadl papír, nicméně muži vykazovali mírně vyšší toleranci. Rozdíl 9 % u bioplastů ve prospěch žen může svědčit o otevřenosti novinkám, atraktivitě rozložitelnosti materiálu nebo také větších zkušenostech s materiálem. Na druhé straně muži vykazují větší zdrženlivost, pravděpodobně vyplývající z pragma-

tismu a rozvahy.

Podle průměrných bodových hodnocení charakteristických znaků bioplastů kladou jak muži, tak ženy velký důraz na to, aby bioplasty měly environmentální benefity, zároveň však lze i u žen pozorovat důležitost environmentálních faktorů (viz tab. I).

Statisticky významné rozdíly mezi skupinami jsou u otázek klimatické změny a znečištění vod. Shodu naopak obě pohlaví projevila u materiálových vlastností a rozložitelnosti. Lze z toho usuzovat, že nejvýraznější rozdíly v uvažování mužů a žen jsou v oblasti životního prostředí (viz tab. II).

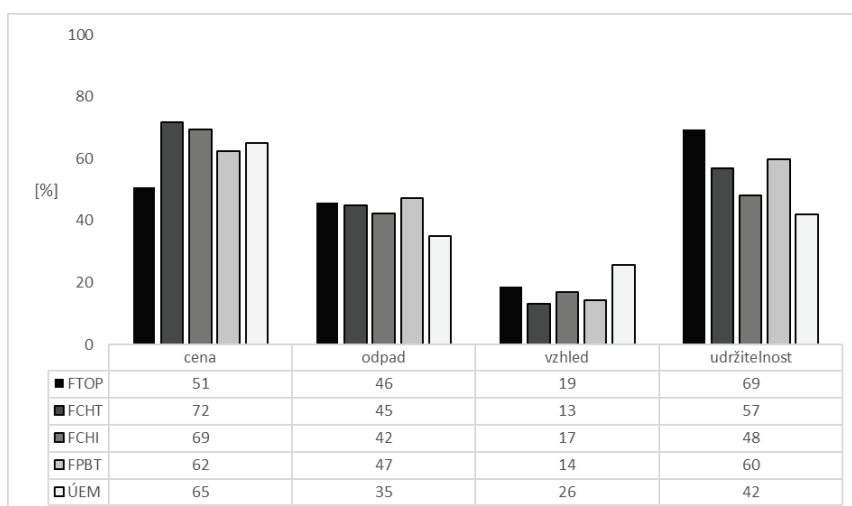
### Vzdělání

Ve srovnání jednotlivých fakult je v situaci 1 týkající se produktu na jednorázové použití (viz obr. 5) nejvýraznější rozdíl mezi studenty environmentálního vzdělání a ostatními studenty VŠCHT u faktoru cena a udržitelnost. Pro studenty a studentky FTOP, tj. fakulty s environmentálním zaměřením, není cena hlavním motivem rozhodování v porovnání s dotazovanými ostatními fakult. Tím je naopak udržitelnost produktu. Překvapivé ale je, že omezování produkce odpadu řeší studenti napříč VŠCHT obdobně.

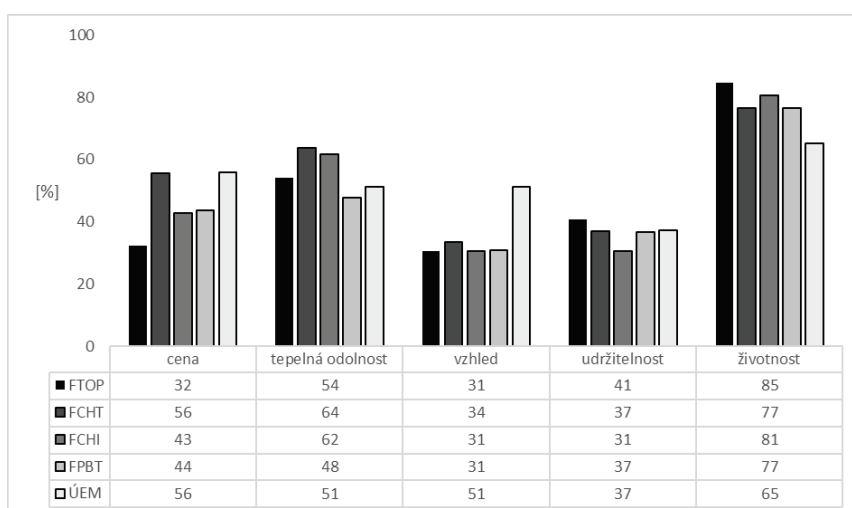
### Tabulka II

Vyhodnocení U-testu pro zjištění statistické významnosti rozdílů v rozhodování o důležitosti charakterového znaku bioplastů mezi muži a ženami

Znak	U-hodnota	z-hodnota	Pravděpodobnost	Významnost
Materiálové vlastnosti	46005	0,43431	0,66720	ne
Klimatická změna	37734	4,15868	<0,00001	ano
Omezení znečištění vod	41915	2,27601	0,02260	ano
Rozložitelnost	42866	1,84710	0,06432	ne



Obr. 5. Relativní četnosti kritérií rozhodování spotřebitele při volbě mezi plastem a bioplastem u produktu pro jednorázové použití se zaměřením na vzdělání respondentů



Obr. 6. Relativní četnosti kritérií rozhodování spotřebitele při volbě mezi plastem a bioplastem u produktu pro opakované použití se zaměřením na vzdělání respondentů

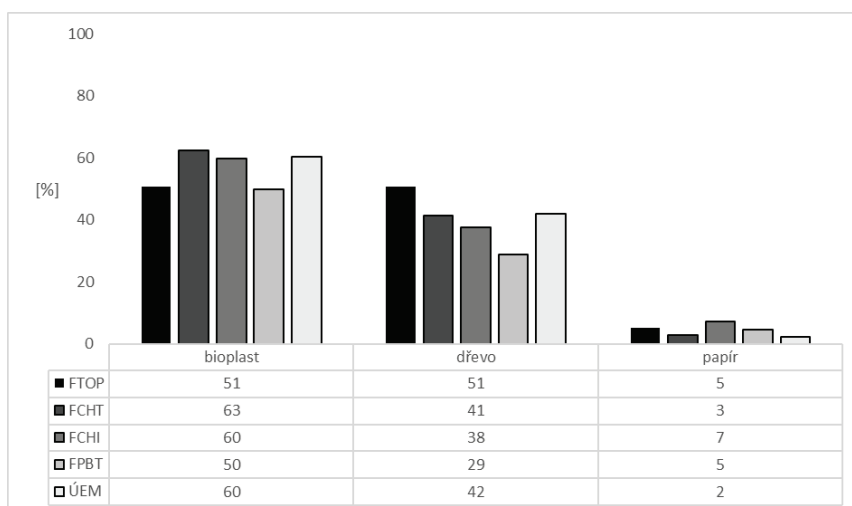
Situace 2 (viz obr. 6) ilustruje rozdíl mezi studenty ÚEM a chemicky zaměřenými fakultami. Ekonomové totiž u produktu na opakované použití mnohem výrazněji upřednostňují vzhled oproti ostatním studentům, zároveň se nejméně zaměřují na životnost. Zajímavostí je také zvýšený zájem o tepelnou odolnost produktu ze strany studentů FCHT a FCHI, u kterých lze předpokládat rozsáhlejší materiálové znalosti.

Oblibu jednotlivých materiálů znázorňuje obr. 7. Kromě FTOP převládá preference bioplastů před dřevem. Studenti fakulty zaměřené na životního prostředí by stejně ochotně zvolili dřevo jako bioplast. Je pravděpodobné, že

environmentalisté jsou si lépe vědomi limitů, které bioplasty mají, a proto jsou k nim zdrženlivější.

V hodnocení důležitosti vlastností bioplastů je výraznější rozdíl mezi environmentalisty a ostatními studenty VŠCHT pouze u klimatické změny a rozložitelnosti, kdy studenti FTOP těmto kritériím přisuzují vyšší váhu (viz tab. III).

Pro zjištění vlivu environmentálního vzdělání byly U-testy porovnávány výsledky FTOP proti ostatním fakultám (viz tab. IV až VII). Jediný statisticky významný rozdíl pro hladinu významnosti  $\alpha = 0,05$  byl zjištěn pro oblast klimatické změny FTOP vs. FCHT, kdy FTOP vykazovala



Obr. 7. Relativní četnosti volby typu materiálu pro produkt na jednorázové použití se zaměřením na vzdělání respondentů

Tabulka III

Průměrná hodnota důležitosti charakterového znaku bioplastů dle vzdělání respondentů

Znak	FTOP	FCHT	FCHI	FPBT	ÚEM
Materiálové vlastnosti	3,6	3,7	3,8	3,8	3,5
Klimatická změna	4,6	4,3	4,3	4,4	4,4
Omezení znečištění vod	4,7	4,6	4,5	4,7	4,7
Rozložitelnost	4,6	4,4	4,4	4,5	4,4

Tabulka IV

Vyhodnocení U-testu pro zjištění statistické významnosti rozdílů v rozhodování o důležitosti charakterového znaku bioplastů pro FTOP vs. FCHT

Znak	U-hodnota	z-hodnota	Pravděpodobnost	Významnost
Materiálové vlastnosti	5044	0,32640	0,74140	ne
Klimatická změna	4294	-1,98603	0,04660	ano
Omezení znečištění vod	4938	-0,56206	0,57548	ne
Rozložitelnost	4397	-1,75922	0,07840	ne

Tabulka V

Vyhodnocení U-testu pro zjištění statistické významnosti rozdílů v rozhodování o důležitosti charakterového znaku bioplastů pro FTOP vs. FCHI

Znak	U-hodnota	z-hodnota	Pravděpodobnost	Významnost
Materiálové vlastnosti	3970	1,42348	0,15560	ne
Klimatická změna	3849	-1,72408	0,08544	ne
Omezení znečištění vod	3958	-1,45205	0,14706	ne
Rozložitelnost	3772	-1,91412	0,05614	ne

Tabulka VI

Vyhodnocení U-testu pro zjištění statistické významnosti rozdílů v rozhodování o důležitosti charakterového znaku bioplastů pro FTOP vs. FPBT

Znak	U-hodnota	z-hodnota	Pravděpodobnost	Významnost
Materiálové vlastnosti	5164	1,29679	0,19360	ne
Klimatická změna	5267	-1,09034	0,27572	ne
Omezení znečištění vod	5714	-0,19442	0,84930	ne
Rozložitelnost	5010	-1,60645	0,10740	ne

Tabulka VII

Vyhodnocení U-testu pro zjištění statistické významnosti rozdílů v rozhodování o důležitosti charakterového znaku bioplastů pro FTOP vs. ŮEM

Znak	U-hodnota	z-hodnota	Pravděpodobnost	Významnost
Materiálové vlastnosti	1245	-0,15586	0,87288	ne
Klimatická změna	1144	0,84030	0,40090	ne
Omezení znečištění vod	1228	0,27445	0,78716	ne
Rozložitelnost	1041	1,54168	0,12356	ne

o tuto problematiku vyšší zájem. Ve všech dalších případech byly pro všechny fakulty rozdíly vyhodnoceny jako statisticky nevýznamné, z toho důvodu se v této sekci nepotvrdila hypotéza vlivu vzdělání na rozhodování.

Z důvodu malého počtu studentů environmentálních oborů byl ve srovnání s ostatními fakultami získán malý vzorek respondentů. Lze předpokládat, že při jejich vyšším zastoupení by se ukázal vliv vzdělání na rozhodování jako statisticky významný.

## Závěr

Cílem studie bylo zmapovat názory studentů a studentek bakalářského a magisterského studia VŠCHT Praha na bioplasty a vyhodnotit vliv pohlaví a environmentálního vzdělání na rozhodování věkově homogenní skupiny v České republice.

Byl pozorován rozdíl v rozhodování mezi muži a ženami. Ženy vykazovaly vyšší citlivost k environmentálním tématům, muži reagovali více pragmaticky. V případě nákupu produktu pro jednorázové i opakované použití měly ženy vyšší tendenci rozhodovat se dle environmentálních kritérií. Obě pohlaví navíc jednoznačně preferovala bioplasty v případě výrobků pro jednorázové použití před dřevem a papírem.

V případě hodnocení míry důležitosti charakteristických vlastností bioplastů pro jednotlivce byl potvrzen dle U-testu statisticky významný rozdíl mezi pohlavími u environmentálních kritérií. Ženy hodnotily vliv bioplastů na klimatickou změnu a omezení znečištění vod vyššími bodovými hodnotami než muži, tzn. bylo to pro ně důležitější kritérium.

Studenti VŠCHT Praha vykazovali dobré povědomí o dané problematice a s ohledem na udržitelný rozvoj byli otevření používání produktů vyrobených z bioplastových materiálů. Jelikož se vzhledem k zaměření jejich vzdělání jednalo o velmi dobře informovanou skupinu respondentů, dá se v případě širší veřejnosti předpokládat nižší míra povědomí, a osvěta by tak měla být samozřejmou součástí marketinku při vstupu nových materiálů na trh. Zároveň je vhodné uvažovat přizpůsobení informační kampaně též s přihlédnutím k věku, vzdělání a pohlaví.

## Seznam zkratk

PE	polyethylen
PET	polyethylentereftalát
PP	polypropylen
PVC	polyvinylchlorid
PLA	kyselina polymléčná
PHA	polyhydroxyalkanoát
PBS	polybutylensukcinát
PBAT	kopolymer 1,4-butandiolu, kyseliny adipové a dimethyltereftalátu
PCL	polykaprolakton

## LITERATURA

- <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>, staženo 17. 4. 2023.
- Van Emmerik T., Mellink Y., Hauk R., Waldschläger K., Schreyers L.: *Frontiers in Water* 3, 212 (2022).
- Van Emmerik T., Loozen M., Van Oeveren K., Buschman F., Prinsen G.: *Environ. Res. Lett.* 14,



- 084033 (2019).
- Ryan P. G.: *Mar. Pollut. Bull.* 135, 159 (2018).
  - Nelms S. E., Duncan E. M., Broderick A. C., Galloway T. S., Godfrey M. H., Hamann M., Lindeque P. K., Godley B. J.: *ICES J. Mar. Sci.* 73, 165 (2016).
  - Wang L., Wu W.-M., Bolan N. S., Tsang D. C. W., Li Y., Qin M., Hou D.: *J. Hazard. Mater.* 401, 123415 (2021).
  - Shim W. J., Kim S.-K., Lee J., Eo S., Kim J.-S., Sun C.: *Environ. Pollut.* 311, 119911 (2022).
  - Kosuth M., Mason S. A., Wattenberg E. V.: *PloS One* 13, e0194970 (2018).
  - Diaz-Basantes M. F., Conesa J. A., Fullana A.: *Sustainability* 12, 5514 (2020).
  - Leslie, H. A., Van Velzen M. J., Brandsma S. H., Vethaak A. D., Garcia-Vallejo J. J., Marja H.: *Environ. Int.* 163, 107199 (2022).
  - Evropská směrnice 2019/904 k omezení plastového odpadu v mořích a oceánech a podpoře cirkulární ekonomiky. Úřední věstník 2019, právní předpisy 155, str. 1.
  - Zákon č. 243/2022 Sb. o omezení dopadu vybraných plastových výrobků na životní prostředí. Sběrka zákonů 2022, částka 112, str. 2778.
  - <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>, staženo 17. 4. 2023.
  - Cazaudehore G., Guyoneaud R., Evon P., Martin-Closas L., Pelacho A. M., Raynaud C., Monlau F.: *Biotechnol. Adv.* 56, 107916 (2022).
  - Van Oosterhout L., Dijkstra H., Van Beukering P., Rehdanz K., Khedr S., Brouwer R., Duijndam S.: *Front. Marine Sci.* 8, 2060 (2022).
  - Mainieri T., Barnett E. G., Valdero T. R., Unipan J. B., Oskamp S.: *J. Soc. Psychol.* 137, 189 (1997).
  - Deng L., Cai L., Sun F., Li G., Che Y.: *Resour., Conserv. Recycl.* 163, 105096 (2020).
  - Leal Filho W., Salvia A. L., Bonoli A., Saari U. A., Voronova V., Kloga M., Kumbhar S. S., Olszewski K., De Quevedo D. M., Barbir J.: *Sci. Total Environ.* 755, 142732 (2021).
  - Dilkes-Hoffman L. S., Pratt S., Laycock B., Ashworth P., Lant P. A.: *Resour., Conserv. Recycl.* 147, 227 (2019).
  - Hammami M. B. A., Mohammed E. Q., Hashem A. M., Al-Khafaji M. A., Alqahtani F., Alzaabi S., Dash N.: *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 20626 (2017).
  - Dilkes-Hoffman L. S., Ashworth P., Laycock B., Pratt S., Lant P. A.: *Resour., Conserv. Recycl.* 151, 104479 (2019).
  - Herbes C., Beuthner C., Ramme I.: *J. Cleaner Prod.* 194, 203 (2018).
  - Magnier L., Mugge R., Schoormans J.: *J. Cleaner Prod.* 215, 84 (2019).

**M. Nová and P. Šmejkalová** (*Department of Water Technology and Environmental Engineering, University of Chemistry and Technology, Prague, Czech Republic*):  
**Bioplastics, as Seen by University Students**

The study focuses on the issue of bioplastics from a societal perspective. The surveyed group were students of bachelor and master programs of the University of Chemical Technology Prague, the aim was to map the awareness of bioplastics within the group of university students specialized in chemistry in the Czech Republic. The influence of gender and environmental education on decision making was also investigated. It showed that gender influences decision-making on environmental issues, with women giving more weight to sustainability and zero-waste bioplastics, as well as to the potential positive impact of bioplastics on climate change and water pollution reduction. Men are more pragmatic in their decision-making, giving more priority to material and economic aspects. In the case of the influence of vocational education, environmental students showed a greater tendency towards sustainable behaviour. However, given the small sample of environmental respondents, this hypothesis needs to be confirmed by further research.

**Keywords:** bioplastics, plastic pollution, gender, social opinion



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.

## Ze života chemických společností

### 1. ročník konference Rosteme s chemií

Ve dnech 15. a 16. června 2023 se v prostorách Fakulty chemicko-technologické Univerzity Pardubice konal první ročník konference Rosteme s chemií, které se zúčastnilo na 70 chemiků a chemiček do 35 let. Akcí zorganizovala Sekce mladých České společnosti chemické – Asociace mladých chemiků. Během dvou dnů přes 30 účastníků představilo svou vědeckou práci formou přednášek, dalších 34 účastníků své práce prezentovalo ve čtvrtek večer ve formě posteru. Účastníci konference působí na mnoha institucích: Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice; Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova; Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého Olomouc; České vysoké učení technické v Praze; Vysoká škola chemicko-technologická v Praze; Fakultní nemocnice v Motole; Ústav organické chemie a biochemie, AV ČR; Fyzikální ústav, AV ČR; Ústav fotoniky a elektroniky, AV ČR; Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, AV ČR; Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně; Vysoké učení technické v Brně a Slovenská technická univerzita v Bratislavě.

Kromě vědeckých prací mladých vědců a vědkyň byly na konferenci pozváni dva přednášející. Ve čtvrtek se Olga Ryparová (na sítích fungující pod projektem Olinium) ve své přednášce věnovala zajímavému tématu – popularizace chemie, které s účastníky prodiskutovala zajímavou interaktivní formou. V pátek na Olgu navázal Dr. Patrik Čermák (Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice), který se ve svém bloku věnoval výuce a vědě na vysokých školách. Ve svém vstupu se věnoval především připravenosti vědeckých a akademických pracovníků nebo Ph.D. studentů na výuku.

V samotném závěru konference proběhlo vyhodnocení nejlepších prací. Česká společnost chemická věnovala pět ročních členství, které za své skvělé práce obdrželi:



Foto: Společná fotografie všech účastníků

Ing. Marcela Chrtková (Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice), Ing. Jana Hojcsková (Ústav organické chemie a biochemie, Akademie věd ČR), Ing. Kateřina Dunovská, Ph.D. (Fakultní nemocnice Motol a 2. lékařská fakulta, Univerzita Karlova), Bc. Kateřina Mazánková (Vysoká škola chemicko-technologická v Praze) a Ing. Jan Bartáček, Ph.D. (Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice). Dále byly oceněny nejlepší přednáška a poster, které sponzorovala společnost Mega, a.s. Cenu za nejlepší přednášku si odnesl Jakub Sochor (Fakulta jaderná a fyzikálně-inženýrská, České vysoké učení technické v Praze). Ocenění za nejlepší poster obdržela Ing. Daria Chernenko (Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice).

Konference by nemohla proběhnout bez sponzorů. Jako prvním se sluší poděkovat firmě Metrohm Česká republika, s.r.o., která nesponzorovala pouze konanou konferenci, ale dlouhodobě podporuje činnost Asociace mladých chemiků České společnosti chemické. Dále na tomto místě děkujeme za finanční podporu společnosti M.G.P./EDVOTEK. Finanční dar na ocenění nejlepší přednášky a posteru poskytla firma Mega a.s. Reklamní předměty, jako dárek pro účastníky, poskytla firma Radka spol. s r.o. Pardubice. Dále také děkujeme našim mediálními partnerům, kterými byly Chemické listy a CHEMAGAZÍN.



Foto: Výherci ceny firmy Mega a.s. za nejlepší poster a přednášku



Foto: Výherci ročního členství v ČSCH

Na závěr si vás dovoluujeme pozvat na ročník druhý, který se bude konat v polovině června 2024 v prostorách Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy.

Organizační výbor konference,  
Asociace mladých chemiků ČSCH



### Cena Alfreda Badera I

Komise pro udělování ceny Alfreda Badera I za organickou chemii České společnosti chemické rozhodla, že Cenu za rok 2023 dostal pan Ing. Bronislav Jurásek, Ph.D., odborný asistent v Laboratoři forenzní analýzy biologicky aktivních látek Vysoké školy chemicko-technologické v Praze. Tématem přihlášeného souboru prací byly „Nové psychoaktivní látky, syntéza a studium vlastností“.

Cena byla zřízena v roce 1994 dr. Alfredem Baderem (známý chemik, milionář, self-made man, zakladatel firmy Aldrich, filantrop, sběratel vlámských mistrů) a je sponzorována americkou nadací Bader Philantropies, grantem číslo 21569.

Více na <https://csch.cz/o-spolecnosti/oceni/ceny-alfreda-badera/>.

Pavel Drašar,  
předseda komise

## Odborná setkání

### 19. mezinárodní studentská konference „Modern Analytical Chemistry“

Po dva dny, 14. a 15. září 2023, se na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy konal 19. ročník konference „Modern Analytical Chemistry“, na níž doktorandi analytické chemie několika zemí prezentovali a diskutovali svůj výzkum v této pro lidstvo nepostradatelné vědní oblasti. Konference se již tradičně konala pod záštitou Division of Analytical Chemistry, European Chemical Society a současně i Odborné skupiny analytické chemie České společnosti chemické.

Na konferenci vystoupilo čtyřicet dva přednášejících z deseti univerzit pěti evropských zemí:

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie (Polsko), Българска академия на науките (Bulharsko), Farmaceutická fakulta Univerzity Karlovy (ČR), Politechnika Gdańska (Polsko), Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy (ČR), Slovenská technická univerzita v Bratislave (Slovensko), Univerzita Pardubice (ČR), Universität Regensburg (Německo), Uniwersytet Jagielloński (Polsko), Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu (Polsko) a Vysoká škola chemicko-technologická v Praze (ČR).

Jednotlivé příspěvky se zaměřovaly jak na základní výzkum a vývoj v oblasti analytické chemie (studium mechanismů fragmentace v hmotnostní spektrometrii,

možnosti stanovení nanočástic), tak na uplatnění analytické chemie v nejrůznějších oblastech, zejména v medicíně (stanovení sterolů, dopaminu), farmacii (studium degradace účinných látek), sledování kvality životního prostředí (kontaminanty ve vodách) či kriminalistice (vizualizace otisků prstů).

Kvalita všech příspěvků, přednášených výhradně v angličtině, byla velmi vysoká, a tak měla odborná porota obtížné rozhodování, než udělila následující ocenění:

- Cenu firmy Metrohm ČR za nejlepší prezentaci v oblasti elektroanalytické chemie získala paní Ing. Sára Hermochová (Vysoká škola chemicko-technologická v Praze) za práci *Electrochemical visu-*



*alization of fingerprints using poly(phenazine) dyes on the brass cartridges.*

- Cenu firmy ALS za příspěvek řešící aktuální environmentální výzvy získala paní Mgr. Ewelina Czyz (Farmaceutická fakulta, Univerzita Karlova) za práci *Supported liquid-solid phase extraction using wetted nanofiber discs as a simple approach for extraction of water contaminants.*

Dále pan prof. RNDr. Jiří Zima, CSc., děkan Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy, udělil na základě návrhu odborné poroty tři ceny děkana, kterou získaly:

- paní Seyedehelehae Bagherimetkazini, MSc. (Universität Regensburg) za práci *Tyrosine oxidation behavior using electrochemistry, capillary electrophoresis, and mass spectrometry.*
- paní Karolina Mermer, M.S. (Uniwersytet Jagielloński) za práci *Smart fluorimetric system for the determination of antibiotics.*
- paní Mgr. Alice Šimonová (Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova) za práci *Studying the interactions between selected active pharmaceutical ingredients and liposomes by capillary electrophoresis.*

Program konference a konferenční sborník, obsahující některé z prezentovaných prací, je dostupný na webové stránce konference: <http://www.natur.cuni.cz/isc-mac/>.

K úspěchu konference přispěla i podpora sponzorů, předních firem dodávajících vybavení nebo chemikálie pro analytické laboratoře, nebo společností, ve kterých absolventi oboru nacházejí své uplatnění. Organizátoři velmi děkují za podporu následujícím společnostem (v abecedním pořadí): ALS ([www.alsglobal.cz](http://www.alsglobal.cz)), Altium ([www.hpst.cz](http://www.hpst.cz)), Analytika ([www.analytika.net](http://www.analytika.net)), Avantor ([cz.vwr.com](http://cz.vwr.com)), ECOM ([www.ecomsro.com](http://www.ecomsro.com)), Fisher Scientific ([www.thermofisher.cz](http://www.thermofisher.cz)), ChromSpec ([www.chromspec.cz](http://www.chromspec.cz)), Lachner ([www.lach-ner.com](http://www.lach-ner.com)), Metrohm Česká republika ([www.metrohm.com/cs-cz/](http://www.metrohm.com/cs-cz/)), Optik Instruments ([www.optikinstruments.cz](http://www.optikinstruments.cz)), Skalar ([cz.skalar.com](http://cz.skalar.com)), 2Theta ([www.2theta.cz](http://www.2theta.cz)), Waters ([www.waters.com](http://www.waters.com)) a Zentiva ([www.zentiva.cz](http://www.zentiva.cz)).

Další, v pořadí 20. ročník konference, na nějž si dovoluji jménem organizátorů srdečně pozvat, se uskuteční ve dnech 19. a 20. září 2024 opět na Chemickém ústavu Přírodovědecké fakulty UK. Informace zájemci nalezou na webových stránkách konference <http://www.natur.cuni.cz/isc-mac/>. Anglickou verzi naleznete na webu Chemických listů ([http://www.chemicke-listy.cz/files/2023\\_10.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/files/2023_10.pdf)).

*Karel Nesměrák*

*Katedra analytické chemie, Přírodovědecká fakulta UK*

## Zpráva o 7. mezinárodní termoanalytické konferenci CEEC-TAC

Na Fakultě chemické Vysokého učení technického v Brně se ve dnech 28. až 31. srpna 2023 konal sedmý



Foto: Předávání ocenění CEEC-TAC prof. Šestákovi. Zleva prof. Jiří Málek, prof. Matko Erceg, prof. Jaroslav Šesták, prof. Andrei Rotaru, prof. Jiří Kučerík (foto Ing. Petra Procházková)

ročník Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry (CEEC-TAC, <http://www.ceec-tac.com/>). Tato konference byla věnována prof. Jaroslavu Šestákovi, a to u příležitosti jeho 85. narozenin. Profesor Šesták je známý český vědec, autor mnoha původních vědeckých prací a knih, který se celou svoji kariérou věnoval (mimo jiné) termické analýze a kinetice procesů v pevné fázi. Na úvod celé konference přednesl prof. Šesták poutavou přednášku „Former personalities of the Czech-Slovak thermal analysis community and their inventive contributions“, která ukázala, že termická analýza v různých formách má v českých zemích dlouholetou tradici, začínající již u Jana Amose Komenského.

Konference se koná každé dva roky, v předcházejících letech se konala například ve Splitu, Kišiněvě, Vilniusu a dalších atraktivních lokalitách. Každý ročník, dokonce i postcovidový rok 2021, se mohl pyšnit hojnou účastí vědců z celého světa. Nejinak tomu bylo i letos, zúčastnilo se celkem 204 účastníků z 28 zemí celého světa. Konferenci jako vždy předcházela Letní škola termické analýzy, tentokrát byla zaměřena především na studium kinetiky procesů v pevné fázi a vyhodnocení dat. Samotná konference probíhala ve čtyřech přednáškových sekcích, s třemi posterovými sekcemi, třemi workshopy vědeckých komisí spadajících pod vědecké skupiny International Confederation for Thermal Analysis and Calorimetry (ICTAC <http://www.ictac.org>)

Konferenci pořádala společnost CEEC-TAC, spoluorganizáteli pak byla Fakulta chemická VUT v Brně, Odborná skupina termické analýzy ČSCH a Universitatea Babeş-Bolyai din Cluj-Napoca, Rumunsko. Nad konferencí převzala záštitu Akademie věd České republiky. Sponzory konference byly firmy NETZSCH, Rigaku, Setaram Instrumentation, Elsevier, partnerem konference byla firma ChromSpec spol. s r.o.

*Za organizační tým*

*Jiří Kučerík, Andrei Rotaru, Pavel Šiler*

## Akce v ČR a v zahraničí

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

## Recenze



**Prvoligový editor  
strukturních vzorců  
stále zdarma**

Program ACD/ChemSketch firmy Advanced Chemistry Development, Inc. z Toronta je jeden z nejdokonalejších strukturních editorů na trhu. Výrobce tento program, jehož stálá komerční licence stojí 799 USD, stále nabízí zdarma pro akademické a osobní použití na adrese <https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/>. ACD/ChemSketch je software pro kreslení molekulárních strukturních vzorců se všemi funkcemi, které můžete potřebovat. ChemSketch (free version) dovede vypočítat různé molekulární i chirální deskriptory a generuje názvy podle pravidel IUPAC pro malé molekuly. Schopnosti správně kreslit chemické struktury ocení i ti, kteří se zabývají biologicky aktivními látkami, protože program rozumí chiralitě. Vzorce jsou nakresleny podle pravidel IUPAC s možností automatické úpravy podle požadavků největších časopiseckých nakladatelství; program ale umožňuje též individuální nastavení podle přání uživatele. Je to program, který používají přes dva miliony vědců a učitelů po celém světě.

Tím, že dokáže ze strukturního vzorce odvodit odpovídající identifikátor INCHI, lze tento identifikátor přímo pro nejsložitější molekuly překopírovat do vyhledávače SciFinder a tak vyhledat pro danou molekulu literární a patentové odkazy. Sám ChemSketch je přímo propojen s databázemi PubChem, eMolecules a ChemSpider, takže pro nakreslenou molekulu můžeme hledat literární odkazy, vlastnosti, ale i prodávající firmy.

Program je vybaven širokou paletou šablon, jak pro strukturní vzorce, tak pro laboratorní nádobí a vybavení. Kromě kreslení vzorců jej lze použít i pro konstrukci grafických objektů ve vektorové grafice s použitím pokročilých nástrojů, jako jsou Bézierovy křivky, a nakreslené objekty dále upravovat pomocí uzlů (vrcholů) a hran.

Program slouží i jako základna pro (již plně komerční) moduly pro generování dat pro ADME-TOX, fyzikálně chemických vlastností jako  $\log D$ ,  $\log P$ ,  $pK_a$ , analýzu spekter, generování názvů podle IUPAC a CAS, a mnoho dalšího, a v neposlední řadě pro vytváření uniformních zpráv a vědeckých výstupů (<https://www.acdlabs.com/>

products/). K analýze a studiu vlastností jsou pak k dispozici obsáhlé databáze, kde např. v databázi NMR je k dispozici 384 tisíc validovaných spekter.

*Pavel Drašar*

### Referenční meze biochemických a farmakologických vyšetření dle věku, pohlaví, etnika, trans genderu a trimestru gravidity

Sestavil: Karel Kotaška, Richard Průša, Martina Bunešová, Jana Čepová s dalším kolektivem

Knihu vydala Fakultní nemocnice v Motole, jako 45. publikaci s podporou společnosti Siemens Healthineers a Promedica.

Kniha byla vydána v nákladu 1000 výtisků a má 295 stran. Obsah je členěn do pěti logických celků. ISBN 978-87347-43-0

Ústav v současnosti zajišťuje 225 analytických metod pro analýzy z biologického materiálu (krev, sérum, plasma, likvor, punktát, moč). Každý den se analyzuje asi 2,5 tisíce biologických vzorků, což představuje asi 80 tisíc analýz měsíčně. Kromě běžných fotometrických testů jsou prováděna specializovaná stanovení hladiny léčivých přípravků pomocí HPLC-UV-Vis a LC-MS/MS. Vybrané skupiny proteinů jsou analyzovány imunochemicky, gelovou a kapilární elektroforézou. Hladiny vybraných prvků (zinek, měď, selen, olovo, kadmium, mangan) jsou určovány technikou AAS.

V první části knihy je popis historie a současnosti ústavu. Nejobsáhlejší částí knihy je přehled jednotlivých laboratorních vyšetření. V další části knihy je přehled dostupných údajů o referenčních rozmezích vybraných biochemických analytů v závislosti na věku, etniku a dalších speciálních parametrech. Následují kapitoly o odběru a zpracování vzorků. V hlavní části knihy jsou popsány jednotlivé stanovované analyty. U jednotlivých laboratorních vyšetření jsou uvedeny informace o použitém materiálu, jeho odběru, sběru a transportu do laboratoře. Pro jednotlivý analyt je uveden hlavní princip stanovení a vyhodnocení. Bohužel zde schází více podrobností k vlastnímu principu reakce. Informace o přípravě a zpracování vzorku pro analýzu by asi také zasloužily více úda-

jů a podrobností. Zajímavou kapitolu představuje biologická variabilita daného analytu včetně jeho biologického poločasu (přirozeného poklesu koncentrace analytu na polovinu). Pokud jsou dostupné informace o interferencích a faktorech ovlivňujících stanovení, tak jsou v textu uvedeny. Následuje část zaměřená na referenční rozmezí. V této části by bylo vhodné další ujednocení (u některých analytů jsou informace velmi podrobné u jiných tomu tak není). Kromě toho by bylo vhodné, aby byly doplněny informace, z jakých primárních zdrojů byly tyto údaje získány. Pokud daný analyt je využíván pro výpočet dalších parametrů (případně převody mezi jednotkami), jsou tyto informace uvedeny. Z pohledu klinické medicíny je významnou částí popis indikace a interpretace daného vyšetření. Lze předpokládat, že by bylo přínosné, kdyby na konci popisu byla ke každému analytu uvedena citace na primární informační zdroje.

Následuje několik tabulek k referenčním rozmezím v těhotenství a u trans gender populace. Tyto informace jsou primárně převzaté z různých publikovaných zdrojů. Užitečnou částí knihy je preanalytická příručka a postanalytická fáze. V této kapitole jsou detailně popsány informace o postupu pro získání biologického vzorku a jeho další zpracování. Zde je třeba si uvědomit, že tato část bývá častým zdrojem chyb a je zcela kritická v určení koncentrace daného analytu v biologickém vzorku.

Samozřejmě při realizaci takového díla se vždy vyskytnou drobné nepřesnosti, třeba v abecedě nebo velikosti písma a jednotnosti struktury či neúplnosti seznamu literatury. Přesto příručka zcela jistě usnadní práci klinickým při rozhodování, která vyšetření požadovat a jakým způsobem je interpretovat. Chemikům může poskytnout informace o cestě vzorku a požadavcích na analytické metody aplikovatelné pro biologické vzorky.

*René Kizek  
Fakultní nemocnice v Motole*

M. Bajus, J. Lederer, H. Kittel:

### **Uhlovodíkové technologie.**

### **Energetické suroviny a technologie**

Vydavatel společnost AMCA, spol. s r.o., 2022

Cena 600 Kč

Celková koncepce předložené monografie je dle mého názoru velmi přínosná, a to pro široké spektrum čtenářů – studentů technických univerzit se zaměřením na chemii a energetiku, pedagogičtí pracovníci, akademici, odborníci z chemického průmyslu či energetického sektoru. Po obsahové stránce monografie nabízí zajímavé až ojedinělé propojení mezi uhlovodíkovými technologiemi a energií s akcentem na její zdroje, transformaci a přenos. Obsahová stránka je logická a ucelená. Obdobnou problematikou se zabývá kniha autorů V. Veselý, J. Mostecký a kol. PETROCHEMIA. Tato posuzovaná monografie však s ohledem na reálné podmínky současné doby pojednává mnohem širěji o problematice surovinových zdrojů, a to včetně dostupných alternativ a technologií.

*T. Herink*

Souhrnně lze konstatovat, že předložená kniha je zpracována pečlivě, na vysoké odborné úrovni a svědčí o mimořádném přehledu a profesionalitě autorského kolektivu v oblasti uhlovodíkových technologií i ve zpracování fosilních uhlíkatých surovin a jejich významu jak v oblasti energetiky, tak v chemické technologii. Z uvedených tvrzení vyplývá, že monografie se stane výborným technickým průvodcem pro pracovníky v chemickém průmyslu a samozřejmě i jistě doporučením hodnou pro středoškolské a vysokoškolské studenty v oborech technické chemie a chemického inženýrství.

*J. Hanika*



## Zákony, které ovlivní život chemiků

- 153/2023 Sb. Vyhláška o schvalování technické způsobilosti vozidel a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích
- 155/2023 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 211/2018 Sb., o technických prohlídkách vozidel, ve znění pozdějších předpisů
- 161/2023 Sb. Vyhláška o poplatkovém přiznání k poplatku za ukládání oxidu uhličitého do přírodních horninových struktur
- 166/2023 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 134/2016 Sb., o zadávání veřejných zakázek, ve znění pozdějších předpisů
- 167/2023 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony
- 169/2023 Sb. Vyhláška o stanovení podmínek, při jejichž splnění přestává být tuhé palivo z odpadu odpadem
- 179/2023 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě, ve znění pozdějších předpisů
- 183/2023 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 563/2004 Sb., o pedagogických pracovnících a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 561/2004 Sb., o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání (školský zákon), ve znění pozdějších předpisů
- 184/2023 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony
- 187/2023 Sb. Vyhláška o požadavcích na čaj, kávu a kávoviny
- 191/2023 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 467/2022 Sb., o změně sazby základní náhrady za používání silničních motorových vozidel a stravného a o stanovení průměrné ceny pohonných hmot pro účely poskytování cestovních náhrad pro rok 2023, ve znění vyhlášky č. 85/2023 Sb.
- 199/2023 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 206/2012 Sb., o odborné způsobilosti pro nakládání s přípravky, ve znění vyhlášky č. 17/2018 Sb.
- 200/2023 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 132/2018 Sb., o přípravcích a pomocných prostředcích na ochranu rostlin, ve znění pozdějších předpisů
- 204/2023 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 39/2005 Sb., kterou se stanoví minimální požadavky na studijní programy k získání odborné způsobilosti k výkonu nelékařského zdravotnického povolání, ve znění pozdějších předpisů
- 205/2023 Sb. Vyhláška o seznamu zaměstnání, u nichž se vysoká kvalifikace dokládá vyšší odbornou dovedností, a minimální době požadované odborné praxe k doložení odborné dovednosti
- 218/2023 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 74/2005 Sb., o zájmovém vzdělávání, ve znění pozdějších předpisů
- 226/2023 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 143/2001 Sb., o ochraně hospodářské soutěže a o změně některých zákonů (zákon o ochraně hospodářské soutěže), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 273/1996 Sb., o působnosti Úřadu pro ochranu hospodářské soutěže, ve znění pozdějších předpisů
- 228/2023 Sb. Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 463/2013 Sb., o seznamech návykových látek, ve znění pozdějších předpisů
- 232/2023 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb, ve znění vyhlášky č. 268/2011 Sb.
- 241/2023 Sb. Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 481/2012 Sb., o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních, ve znění pozdějších předpisů
- 242/2023 Sb. Vyhláška o stanovení podrobností značkování a barvení vybraných minerálních olejů a značkování některých dalších minerálních olejů
- 243/2023 Sb. Vyhláška o provedení některých ustanovení zákona o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu, a o fluorovaných skleníkových plynech
- 256/2023 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů
- 265/2023 Sb. Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 75/2005 Sb., o stanovení rozsahu přímé vyučovací, přímé výchovné, přímé speciálně pedagogické a přímé pedagogicko-psychologické činnosti pedagogických pracovníků, ve znění pozdějších předpisů
- 266/2023 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 13/2005 Sb., o středním vzdělávání a vzdělávání v konzervatoři, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 250/2022 Sb., kterou se mění vyhláška č. 13/2005 Sb., o středním vzdělávání a vzdělávání v konzervatoři, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 48/2005 Sb., o základním vzdělávání a některých náležitostech plnění povinné školní docházky, ve znění pozdějších předpisů
- 270/2023 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 155/1995 Sb., o důchodovém pojištění, ve znění pozdějších předpisů

pad

## Zprávy



## ORLEN Unipetrol za 370 milionů korun zmodernizoval technologii výroby čpavku

Tisková zpráva

Skupina ORLEN Unipetrol pokračuje v modernizaci a zvyšování efektivity svých výrobních technologií a plní tak své závazky v oblasti udržitelné výroby, implementace inovací a technologického rozvoje. Nejnověji zmodernizovala ve svém výrobním areálu v Litvínově výrobu čpavku a uvedla do provozu zcela nový čpavkový reaktor. Modernizace výroby čpavku přinese zlepšení efektivity produkce a snížení emisí CO<sub>2</sub> oproti původnímu zařízení. Investice dosáhla výše 370 milionů korun.

Proces modernizace technologií pro výrobu čpavku byl zahájen v roce 2018. Výstavba nového reaktoru začala v lednu 2021 a vlastní těleso reaktoru bylo následně umístěno na pozici v listopadu téhož roku. Po provedení redukce katalyzátoru a garančního testu, který prokázal splnění všech garantovaných parametrů, byl během jara letošního roku čpavkový reaktor uveden do stálého provozu.

„Pokračujeme v rozvoji našich výrobních kapacit směrem ke zvyšování efektivity a snižování energetické a emisní náročnosti. Nová technologie zaručuje vyšší účinnost při stávajících provozních parametrech, což nám zároveň umožňuje dosáhnout vyšší výtěžnosti při výrobě čpavku. Realizace výroby a instalace nového reaktoru si vyžádala rozsáhlé investice. Je to další krok na naší cestě k úplné dekarbonizaci našich výrobních technologií. Úplně emisní neutrality chceme dosáhnout nejspíše v roce 2050,“ řekl Maciej Romanów, člen představenstva společnosti ORLEN Unipetrol.

Čpavkový reaktor R-201 váží přes 200 tun. Je vyrobený z kované žárovečné oceli a má průměr zhruba dva metry a výšku necelých 22 metrů. Plášť reaktoru je svařen z kovaných kroužků o tloušťce stěny více než 120 milimetre-



trů. Reaktor je schopen přetlaku až téměř 32 MPa a pracuje při teplotách mezi –10 °C až +220 °C.

Hlavní výhodou nového reaktoru je zvýšení výtěžnosti při zachování stávajících provozních parametrů. Výrobní kapacita reaktoru činí na prvním okruhu až 500 tun čpavku denně a na druhém okruhu 380 až 410 tun čpavku denně. Přínos nového zařízení oproti původnímu spočívá v tom, že vestavba nového reaktoru je konstrukčně uzpůsobena tak, aby byla zvýšena výtěžnost při zachování stávajících provozních parametrů.

Čpavek, který se vyrábí syntézou z vodíku a dusíku, má široké využití v chemickém průmyslu a jako meziprodukt pro výrobu různých chemických látek. Jedná se o bezbarvou, žíravou kapalinu zásadité reakce a pronikavého zápachu. Výsledný produkt je prodáván ve formě zkapalněného plynu.

ČESKÁ  
spořitelna

ÚOCHB  
IOCB PRAGUE

I&I  
Bio

## Spořitelna jako první banka v Česku investuje 5 milionů eur do akademického investičního fondu i&i Bio zaměřeného na vývoj léků a medicínských inovací

Tisková zpráva

Praha 20. 9. 2023. Česká spořitelna vstupuje jako první banka v Česku do investičního fondu i&i Biotech Fund (i&i Bio), který působí při renomovaném Ústavu organické chemie a biochemie AV ČR (ÚOCHB). Cílem tohoto fondu je podpora vývoje nových léčiv, diagnostických metod a medicínských technologií. Do roku 2026 plánuje i&i Bio s podporou Spořitelny investovat do zhruba 20 medicínských a biotechnologických projektů a pomoci tak jejich přechodu z výzkumu do praxe a k pacientům. Spořitelna je nejen první českou bankou, která do fondu tohoto druhu investuje, ale také jednou z mála evropských bank, které do podobných fondů vstupují přímo jako investoři.

„Ústav organické chemie a biochemie je díky úspěchu týmu profesora Antonína Holého ve vývoji léků proti onemocnění AIDS jedním ze světově nejúspěšnějších českých vědeckých pracovišť. Možnost stát se přímým investorem fondu a podpořit vývoj nových léků a medicínských technologií, které mohou potenciálně pomoci milionům pacientů po celém světě, vnímáme s velkou poctou a pokorou,“ říká generální ředitel České spořitelny Tomáš Salomon. „Je skvělé, že díky své velikosti může i&i Biotech Fund výrazně akcelarovat přenos výsledků vědeckého výzkumu do praxe a být příkladem pro další investory nejen v medicínské oblasti. Investice do vědy a výzkumu





s důrazem na schopnost uplatnit výsledné inovace v globálním měřítku může být jednou ze strategií, díky nimž se Česku podaří nastartovat druhou ekonomickou transformaci," dodává Tomáš Salomon.

Přistoupením České spořitelny investiční kapitál i&i Bio výrazně posílil, a to na celkem 53 milionů eur. Rozšiřuje se tak akční rádius fondu, do něhož před dvěma lety vložil několik desítek milionů eur rovněž Evropský investiční fond. Tato ojedinělá spolupráce zajistila nejen i&i Bio, ale i mateřskému ÚOCHB a Akademii věd místo v elitní společnosti nejvýznamnějších evropských vědeckých institucí, u kterých vznikl podobný investiční fond. Jde o organizace, které jsou současně ohniskem vzniku inovativního průmyslu a hightech společností, ať už se jedná o Vlámský institut biotechnologie (Belgie), Katolickou univerzitu v Lovani (Belgie), Chalmersovu univerzitu v Göteborgu (Švédsko), Univerzitu v Manchesteru (Velká

Británie) nebo Institut Karolinska v Solně (Švédsko). Mezi státy bývalého východního bloku pak drží v této oblasti ÚOCHB a jeho dceřiné společnosti absolutní prvenství.

„Jsem velmi rád, že je to právě Česká spořitelna jako první český finanční ústav, který se rozhodl tak významně podpořit transfer technologií v naší zemi, a že je to právě náš ústav, který takovou spolupráci může zaštitit. Jsem přesvědčen, že tohle je jediná cesta k prosperitě, která má v dnešním světě šanci,“ říká ředitel ÚOCHB prof. Jan Konvalinka.

Pro i&i Bio, který navázal na úspěšné působení společnosti i&i Prague podporující přenos nových technologií z laboratorí do praxe, představuje vstup České spořitelny další důležitý milník v rozvoji fondu. Po zahájení prestižní spolupráce s Evropským investičním fondem a vstupu významných českých soukromých investorů je současný příchod stabilní a spíše konzervativní finanční instituce dalším potvrzením, že je fond vhodným nástrojem pro různé druhy investorů.

„Pro i&i Bio je velkou ctí, že ho Česká spořitelna vnímá jako zajímavý, srozumitelný a transparentní investiční nástroj. Samotný fond splňuje ty nejvyšší světové standardy a ukazuje směr, jakým můžou různí investoři efektivně vkládat peníze do nejnadějnějších výzkumných projektů,“ říká Jaromír Zahrádka, ředitel i&i Bio. Podle něj se otevírá úplně nová kapitola, která má potenciál zásadně změnit formu spolupráce mezi světy vědy a financí. „Náš příklad ukazuje, že v budoucnu je realistické na podobných fondech budovat samostatný pilíř financování rozvoje vědy a inovací, nabídnout nové možnosti široké škále investorů a současně také pomoci české ekonomice hledat nové směry rozvoje,“ dodává Zahrádka.

## Aprílový klub

### TO BYL KICK OFF!

V pondělí 19. 6. jsme hostili kick off meeting k novému projektu DETECT!, který si klade za cíl zvýšit podnikatelské dovednosti studentů z vysokých škol v deep tech odvětvích. Lead partnerem projektu je VŠCHT Praha.

TIC Zlín je hrdým partnerem konsorcia, které se skládá z následujících vysokých škol a institucí: VŠCHT Praha, SPU Nitra – Zelená univerzita, Poznań University of Life Sciences, University of Vienna, Educational-Scientific Center of International Cooperation of NUOS, Maker Institute, Bar-Ilan University, Humboldt Startupservice, INiTS Universitäres Gründerservice Wien GmbH.

Více informací o iniciativě najdete na [https://eit-hei.eu/#EIT\\_HEI](https://eit-hei.eu/#EIT_HEI).

### Smrtelně toxický vápenec

CNN Prime News přinesly 9. 8. 2023 překvapivou zprávu, že:

„Teprve sedmiletý chlapec se v Brazílii před několika dny smrtelně otrávil vápencovým práškem, ve kterém si jen chvíli před svou smrtí hrál. ... Pár minut poté začal boj o jeho život. ... Pokud je vápenec používán například v oblézkové formě, zdravotní komplikace nehrozí. Když je ale rozemletý na prášek, může způsobit vážné zdravotní problémy. Jsou v něm obsaženy drobné částice oxidu křemičitého, které při vdechnutí mohou zapříčinit plicní onemocnění, rakovinu plic, onemocnění ledvin a v nejhorším případě pak smrt, cituje brazilský technologický výzkumný ústav britský The Sun. Z toho důvodu je doporučeno při práci s vápencovým práškem používat ochranné prostředky.“

Takže, pozor na vápenec.

Pavel Drašar

---

## Výročí a jubilea

---

### Jubilanti ve 4. čtvrtletí 2023 a 1. čtvrtletí 2024

Uveřejněno se souhlasem jubilujících.

90

**doc. Ing. Milan Popl, DrSc.**, (10.3.), Čáslav

85

**prof. RNDr. Jan Vřešťál, DrSc.**, (16.2.), Masarykova  
univerzita Brno

80

**Ing. Jiří Křepelka, CSc.**, (13.1.), FARMAK, a.s.,  
Olomouc

75

**RNDr. Svatopluk Krýsl, CSc.**, (1.1.), Hygienická  
laboratoř Labtech s.r.o., Klatovy

**prof. Ing. Jiří Drahoš, DrSc., dr.h.c.**, (20.2.), Ústav  
chemických procesů AV ČR, Praha

**RNDr. Hynek Balcar, CSc.**, (21.3.), ÚFCH J.H. AV ČR,  
Praha

70

**Ing. Karel Bláha, CSc.**, (20.12.), Ministerstvo životního  
prostředí, Praha

**RNDr. Milan Mokrý, CSc.**, (1.1.), FarmF UK, Hradec  
Králové

**prof. Ing. Dalimil Dvořák, CSc.**, (27.1.), VŠCHT Praha

*Srdečně blahopřejeme*

### Zemřelí členové Společnosti

**Mgr. Vladimír Nápravník, Ph.D.**, zemřel 28. srpna 2023.

*Čest jeho památce*



**Nabízíme uplatnění  
ve farmaceutické  
a v chemické výrobě,  
v R&D, laboratořích,  
kvalitě a dalších oborech**

**Jsme Teva, Vaše jistota,  
Vaše místo k růstu.**

- Část školení probíhá ve virtuální realitě
- Roční bonus a každoroční navýšení mzdy
- Šance rychlého růstu - kariérní postup s jasně danými pravidly
- Moderní technologie
- Spousta benefitů + cafeterie 17 000 Kč ročně
- Zdarma i psychologická, právní, sociální a finanční asistence
- Skvělá dostupnost - vlak, autobus

**T: 553 642 424**

**[www.teva.jobs.cz](http://www.teva.jobs.cz)**



Česká společnost chemická, Sekretariát a redakce Chemických listů  
Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1  
tel.: 221 082 383, redakce tel. 221 082 370  
e-mail: chem.spol@csvts.cz  
http://www.csch.cz

## Členské služby a výhody | Česká společnost chemická

Zapojení v České chemické společnosti, členu Asociace českých chemických společností, EuCheMS, ECTN-A a ČSVTS přináší individuálním chemikům, kromě vlastního členství v největší a nejstarší české profesní organizaci chemiků (zal. 1866):

### ROZŠÍŘTE SVÉ KONTAKTY

- celosvětově uznávanou příslušnost k jedné z nejstarších profesních organizací v chemii na světě,
- možnost zapojení se do práce a komunikace v jedné z místních či odborných poboček ČSCh,
- kontakty, informace, služby, možnosti, uplatnění,...
- přístup ke službám a slevám poskytovaným členskými organizacemi EuCheMS pro členy národních organizací,
- možnost přidruženého členství v IUPAC, a z toho plynoucí sleva u nakladatelství Blackwell a na konferencích sponzorovaných IUPAC, členové IUPAC dostávají časopis Chemistry International,
- možnost získání a doporučení členské přihlášky do významných zahraničních chemických společností (RSC, ACS, GDCh, GÖCh, SFC aj.),

### ZÚČASTNĚTE SE NÁRODNÍCH SJEZDŮ

- možnost zúčastnit se národních sjezdů s významnou slevou pro členy, které jsou pořádány každoročně, jednou na Slovensku jednou v ČR,

### ZLEPŠETE SVOJI INFORMOVANOST

- možnost dostávat 4x ročně zdarma tzv. „bulletinové číslo“ Chemických listů v tištěné či elektronické podobě,
- možnost dostávat 4x ročně, cestou elektronické pošty, členské upozornění na nejdůležitější události a aktuality,
- volný přístup k členskému magazínu ChemViews (<http://www.chemistryviews.org/>), jehož je ČSCh spoluvlastníkem, a to i na vašem mobilním telefonu apod.,
- členské informace o nových knihách, produktech a službách i o připravovaných odborných akcích na celém světě,
- informace o dění v evropských strukturách, jako např. EuCheMS, ECTN, EC2E2N a podobně,
- přístup k elektronickým informačním médiím Společnosti,
- volný přístup k tištěným verzím časopisů ChemPubSoc Europe v „knihovně ČSCh“, kterou po dohodě s PřF UK Praha zřídila ČSCh v Knihovně chemie (sídlicí v budově Hlavova 8/2030, Praha 2, Albertov, přízemí, v místnostech č. 148, 149, 150).

### ZAPOJTE SE DO ŘEŠENÍ GRANTŮ EU

- možnost participovat na řešení grantů s evropskými partnery, jako např. ECTN a partnerskými národními společnostmi.

### UŠETŘETE PENÍZE

- možnost objednání předplatného Chemických listů s významnými slevami,
- podstatné slevy u vložného na sjezdech a konferencích, jejichž oficiálním pořadatelem je ČSCh,
- významnou slevu (ca 90 %) na předplatné časopisu Chemistry – A European Journal, a dalších evropských časopisů konsorcia ChemPubSoc Europe, jichž je ČSCh spolumajitelem,
- přístup ke službám a slevám poskytovaným členskými organizacemi EuCheMS pro členy národních organizací,
- možnost získání příležitostných slev obchodních firem spolupracujících s ČSCh,
- slevu při zapůjčení automobilu (až 35 %) u společností AVIS a HERTZ na celém světě, kromě Austrálie, a použití těchto automobilů na akcích v ČR za speciální tarify,
- sleva 20 % z publikačních poplatků v časopise ChemOpenChem, který společnost spoluvlastní.

### ZDŮRAZNĚTE SVOJI PROFESIONALITU

- možnost zažádání o evropskou nostrifikaci chemického vzdělání a odborné praxe spojenou s udělením titulu EurChem, platného v celé EU,

### BUĎTE VIDĚNI

- možnost uplatnit informace z vlastní pracovní činnosti (výsledky, novinky, inzerce, tisková oznámení aj.),
- možnost zveřejnění vlastního oznámení v rubrice Bulletinu Chemických listů „Práci hledají“,
- a řadu dalších služeb, které se teprve sjednávají,

### PRO FIRMY A PODNIKATELE

- Firmám, podnikům, institucím a dalším právnickým osobám nabízí ČSCh mimo jiné i tzv. „kolektivní členství“, při kterém se ve vzájemné smlouvě sjedná to, čím mohou pomoci jedna strana druhé. Podrobnosti na dotaz.

---

**OBSAH****ÚVODNÍK**

**Chemické listy – Listy chemické** 593  
P. Drašar

**REFERÁTY**

**Elektrochemická analýza klinických vzorků – cesta k translačnímu výzkumu** 595

L. Moráňová, M. Bartošík, J. Strmisková a K. Nováková

**Nanočástice jako léčivá forma v praxi** 604

E. Navrátilová Radinová, E. Mašková, K. Kubová a J. Vysloužil

**Kultivace polárních mikrořas v otočném deskovém fotobioreaktoru** 613

V. Bělohlov, T. Jirout, J. Elster, J. Liška, L. Nedbalová a J. Kvíderová

**Kovalentně funkcionalizované grafenové deriváty jako aktivní elektrodové materiály pro superkondenzátory** 619

V. Šedajová, A. Bakandritsos a M. Otyepka

**Metody fixace dusíku a jeho redukce na amoniak** 628  
J. Jarolímková a Z. Kolská

**PŮVODNÍ A METODICKÉ PRÁCE**

**Epitachoforéza – metoda pro získávání biomakromolekul z komplexních matic** 634

H. Hrušková, I. Voráčová, M. Laštovičková, M. Killinger a F. Foret

---

**CONTENTS****EDITORIAL**

**Chemické listy – Listy chemické** 593  
P. Drašar

**REVIEW ARTICLES**

**Electrochemical Analysis of Clinical Samples – a Path to Translational Research** 595

L. Moráňová, M. Bartošík, J. Strmisková, and K. Nováková

**Nanoparticles as a Dosage Form in Practice** 604

E. Navrátilová Radinová, E. Mašková, K. Kubová, and J. Vysloužil

**Cultivation of Polar Microalgae in a Rotating Flat-Panel Photobioreactor** 613

V. Bělohlov, T. Jirout, J. Elster, J. Liška, L. Nedbalová, and J. Kvíderová

**Covalently Functionalized Graphene Derivatives as Active Electrode Materials for Supercapacitors** 619  
V. Šedajová, A. Bakandritsos, and M. Otyepka

**Methods for Nitrogen Fixation and Its Reduction to Ammonia** 628

J. Jarolímková and Z. Kolská

**ORIGINAL AND METHODOLOGICAL PAPERS**

**Epitachophoresis – A Method for the Extraction of Biomacromolecules from Complex Biological Matrices** 634

H. Hrušková, I. Voráčová, M. Laštovičková, M. Killinger, and F. Foret

## BULLETIN ČESKÝCH CHEMICKÝCH SPOLEČNOSTÍ

## BULLETIN OF THE CZECH CHEMICAL SOCIETIES

<b>Předsedové organizací slovenských chemiků do konce 20. století</b> P. Drašar a V. Milata	641	<b>Chairmen of Slovak Chemists' Associations until the End of the 20<sup>th</sup> Century</b> P. Drašar and V. Milata	641
<b>Bioplasty pohledem vysokoškoláků a vysokoškolaček</b> M. Nová a P. Šmejkalová	647	<b>Bioplastics, as Seen by University Students</b> M. Nová and P. Šmejkalová	647
<b>Ze života chemických společností</b>	656	<b>From the Chemical Societies</b>	656
<b>Odborná setkání</b>	657	<b>Meetings and Conferences</b>	657
<b>Akce v ČR a v zahraničí</b>	659	<b>Meetings Calendar</b>	659
<b>Recenze</b>	659	<b>Book Reviews</b>	659
<b>Zákony, které ovlivní život chemiků</b>	661	<b>Laws that could Influence Life of Chemists</b>	661
<b>Zprávy</b>	662	<b>News</b>	662
<b>Aprílový klub</b>	663	<b>Club of Jokes</b>	663
<b>Výročí a jubilea</b>	664	<b>Anniversaries and Jubilees</b>	664

CHEMICKÉ LISTY • ročník/volume 117 (2023), čís./no. 10 • LISTY CHEMICKÉ, roč./vol. 147, ČASOPIS PRO PRŮMYSL CHEMICKÝ, roč./vol. 133 • 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 • VEDOUCÍ REDAKTOR/EDITOR-IN-CHIEF: V. Vyskočil • REDAKTORI/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 REDAKTORI/FOREIGN AND REGIONAL EDITORS: F. Švec (USA, ČR) • 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. Slaviček, I. Stibor, 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: TG TISK s.r.o., 5. května 1010, 563 01 Lanškroun • SAZBA, ZLOM: ČSCH, Chemické listy • Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 • Cena výtisku 180 Kč, roční plné předplatné 2023 (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 • 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 zaslány 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. Spiwook • Dáno do tisku 27.9.2023.



ÚOCHB AV  
ČR  
IOCB PRAGUE



8/11/2023  
14:00-19:00

Přednáškový sál ÚOCHB  
Flemingovo náměstí 2, Praha 6-Dejvice

# 70 let ÚOCHB

## Jubilejní minisymposium

### Vystoupí:

**Michal Lebl** (ÚOCHB AV ČR; UCT Prague; Spyder Institute Praha)  
– úspěchy a promarněné šance peptidové chemie

**Pavel Kočovský** (ÚOCHB AV ČR; Charles University)  
– historie chemie steroidů



**Martin Dračínský** (ÚOCHB AV ČR)  
– historie NMR spektroskopie



**Marcela Krečmerová** (ÚOCHB AV ČR)  
– historie chemie nukleosidů

**Peter Štrop** (ALX Oncology, California; ÚOCHB AV ČR)  
– ohlédnutí za počátky strukturální biologie

**Irena Valterová** (ÚOCHB AV ČR)  
– přírodní látky jako zdroj nových léčiv a agrochemikálií



**Josef Cvačka** (ÚOCHB AV ČR)  
– historie hmotnostní spektrometrie

Celý program završí v 18:00 přednáška Martina France (Masarykův ústav a Archiv AV ČR), autora knihy „Dějiny Ústavu organické chemie a biochemie AV ČR“.

Vstup je pro zájemce zdarma a bez předchozí registrace až do naplnění kapacity sálu.



[www.uochb.cz](http://www.uochb.cz)



[iocbprague](https://www.instagram.com/iocbprague)



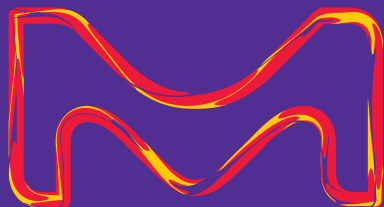
[IOCBPrague](https://www.facebook.com/IOCBPrague)

# CHEM BEADS

## Solid Catalyst-Coated Glass Beads

We'll keep your work flowing with a variety of ChemBeads to help you reach new frontiers in your research and development. ChemBeads are small chemical coated glass beads created for work where submilligram amounts of solids need to be delivered efficiently and accurately for chemical synthesis.

Discover more at:  
[SigmaAldrich.com/ChemBeads](http://SigmaAldrich.com/ChemBeads)



The Life Science business of Merck operates as MilliporeSigma in the U.S. and Canada.

**Sigma-Aldrich®**  
 Lab & Production Materials