



70 let historie Ústavu analytické chemie AV ČR (1956 – 2026)

Milí čtenáři,

v roce 2026 Ústav analytické chemie AV ČR slaví 70. výročí svého vzniku. Tato příležitost nás motivovala k ohlédnutí zpět a k sestavení tohoto stručného a jistě subjektivního přehledu historie a současnosti Ústavu analytické chemie AV ČR. V souladu se současnými trendy vydáváme text jen elektronicky a předpokládáme, že bude v dalších letech doplňován. Společně s předchozími tištěnými brožurami, které jsme při tomto výročí převedli do elektronické podoby, bude i tento text dostupný na ústavních webových stránkách.

Počátky ústavu jsou svázány s analýzou ropy, v níž je dominantní analytickou metodou plynová chromatografie. Během prudkého rozvoje plynové chromatografie postupně narůstaly požadavky pro její využití i k analýze polárních a iontových látek. Další vývoj se tak posunul ke kolonové kapalinové chromatografii a později ke kapilární elektroforéze, která koncem tisíciletí umožnila úspěšné dokončení projektu sekvenování lidského genomu. Kromě chromatografie a elektroforézy byl na ÚIACH řešen i další výzkum v oblasti frakcionace tokem v silovém poli (field-flow) a elementární analýzy

Od svých počátků Ústav analytické chemie AV ČR ušel kus cesty. Dnešní šířka spektra oborů, do nichž výstupy našeho ústavu zasahují, může občas překvapit. To samozřejmě primárně vyplývá z charakteru analytické chemie jako takové. Z menší části k ní ale přispěla a přispívá i poměrně značná míra svobody ve výběru výzkumných témat, která pro náš ústav byla vždy typická.

Během sedmdesáti let vývoje ústavu se výrazně proměnilo spektrum oborů, ze kterých přicházela dominantní poptávka po analytických separacích. Zatímco v počátcích existence ústavu to byla petrochemie a zpracování ropy, v současnosti jde zejména o medicínu, genetiku, molekulární biologii a životní prostředí.

OBSAH

3	Z historie ústavu
5	Významné osobnosti ústavu
8	Společenská stránka vnitřního života ústavu před rokem 1989
9	Napsali o nás - vzpomínky, pozdravy a přání našich kolegů k 70. výročí vzniku Ústavu
20	Publikace – ilustrativní výběr
24	Řešené grantové projekty – ilustrativní výběr
25	Organizace konferencí
26	Vzdělávání středoškoláků, Výzvy
27	Současnost ústavu - vědecká oddělení
28	Oddělení bioanalytické instrumentace (BAI)
34	Oddělení elektromigračních metod (EMM)
41	Oddělení analytické chemie životního prostředí (ENV)
49	Oddělení separací v tekutých fázích (FPS)
55	Oddělení stopové prvkové analýzy (TEA)
64	Oddělení jednomolekulových metod (SiMM)
66	Seznam literatury k textům jednotlivých oddělení
69	Závěr
69	Literatura o ústavu

Z historie ústavu

Základ dnešního Ústavu analytické chemie Akademie věd České republiky byl položen 1. dubna 1956, kdy byla v Brně založena Laboratoř pro analýzu plynů převedením malé výzkumné skupiny z Ústavu pro naftový výzkum do bývalé Československé akademie věd (ČSAV). Jádro skupiny tvořili Jaroslav Janák, Miroslav Rusek a Karel Tesařík a při svém ustavení byla skupina dále rozšířena o Miloše Krejčího, Josefa Nováka a Hanniela Dubského. Vznik Laboratoře nebyl jednoduchý ani přímočarý a její založení bylo z velké části umožněno předvídavostí Františka Šorma, v té době vědeckého tajemníka ČSAV. Laboratoř měla sídlo na Mozartově 1 a jejím úkolem bylo rozvinout moderní metody plynové analýzy a základní výzkum plynové chromatografie. Činnost se soustředila na výzkum semimikroanalýzy plynů a vývoj nových metod stopové analýzy plynů. Hlavním výsledkem byl komplex prací o chromatografické semimikroanalýze plynů s využitím principu objemové detekce. Tyto výzkumy, zahájené v roce 1949 Jaroslavem Janákem ještě za jeho působení v Chemických závodech v Záluží, byly rozvinuty v Ústavu pro naftový výzkum v letech 1951–1955 a ukončeny v roce 1959 v Laboratoři pro analýzu plynů Československé akademie věd vývojem automatizovaného přístroje pro analýzu plynů. Práce měly výrazný vliv na přerod klasické plynové analýzy v moderní postupy nejen v Československu, ale také ve světě. Byly použity především k analýze směsí permanentních plynů s plynnými uhlovodíky v naftovém průmyslu a v rozvíjející se petrochemii. V tomto komplexu prací lze najít většinu klíčových prvků, které byly nezávisle nebo později vyvinuty jinými autory při systematickém výzkumu a využití plynové chromatografie (systém několika kolon, kombinace běžných a zavedení nových sorbentů, stopová analýza chromatografickou koncentrací).

S rostoucí šíří využití plynové chromatografie byly v letech 1956–1965 studovány látky se stále vyšším bodem varu, přičemž základními modely byly látky typické pro chemii uhlovodíků (ropa, dehet). V rámci tohoto účelového výzkumu vzniklo opět několik metodických prvků, které doznaly širšího využití, resp. následování. Byla to např. myšlenka definované pyrolýzy, dvourozměrné chromatografie s využitím plynové chromatografie jako jednoho rozměru a metoda definované modifikace skleněného povrchu kapilár s vysokou rozlišovací schopností.

Usnesením prezidia Československé akademie věd ze dne 17. 2. 1965 s účinností od 1. 1. 1966 byl zřízen vlastní Ústav instrumentální analytické chemie ÚIACH ČSAV (ÚIACH) a pracoviště přesídlilo do budovy na rohu nynější Kounicovy a Zahradníkovy ulice. Úkolem ÚIACH byl základní výzkum perspektivních variant separačních analytických mikro- a submikrometod, zvláště chromatografických, se zvláštním zřetelem k tvorbě přístrojové techniky. Jestliže první etapu vývoje laboratoře v letech 1956–1965 charakterizoval výzkum metodologie plynové chromatografie a stopové analýzy, byl zřejmým rysem další etapy vážný teoretický zájem o plynovou chromatografii jako kvantitativní analytickou metodu, o fyzikálně-chemickou interpretaci látkové rovnováhy ve dvoufázovém systému, o transportní jevy v porézním prostředí a o termodynamickou interpretaci retenčních dat. Pozitivním výsledkem tohoto výzkumu byl mj. objev tlakové závislosti signálu plameno-ionizačního čidla, průkaz selektivity termoionizačního detektoru na síru, a nalezení systematických chyb při práci s katarometrem při aplikaci teplotních programů.

Přístrojové zaměření výzkumu je patrné z výsledků, které vedly k tvorbě nové přístrojové techniky. Je možno uvést originální řešení přístroje pro elementární analýzu organických látek na frontálně chromatografickém principu, které se stalo základem hromadné výroby v n. p. Laboratorní přístroje Praha. Dále je to submikrotechnika, dovolující aplikovat klasické

kolorimetrické reakce k pikoanalýze prvků a sloučenin měřením absorpance zbarvených mikrozn silikagelu pod mikroskopem nebo modifikace Eggertsenovy a Nelsonovy metody měření povrchů tepelnou desorcí tak, aby umožnila měření malých povrchů ve velkých objemech materiálu, což má značný technický význam. V měřítku Československa byly vytvořeny podmínky pro masovou průmyslovou výrobu plynových chromatografů řady CHROM ve výše zmíněném podniku.

Tradice výzkumu a rozšíření metodického základu ústavu dovolily účelně a včas zahájit výzkum účinné kapalinové chromatografie, který poskytl některé dílčí a programové výsledky v oblasti nových detektorů a dal vzniknout výrobě kapalinových chromatografů řady L-CHROM v Československu. Výzkum se tehdy soustředil na studium vlivu teploty na separační rovnováhu a na její mechanismus v systémech kapalina–kapalina a kapalina–adsorbent.

Usnesením prezidia Československé akademie věd ze dne 6. 6. 1973 bylo pracoviště s účinností od 1. 1. 1974 přejmenováno na Ústav analytické chemie ČSAV (původní zkratka ÚIACH zůstala zachována). V sedmdesátých letech se začaly rozvíjet analytické elektromigrační metody, zejména analytická izotachoforéza. V souvislosti s rozvojem kapalinové chromatografie a nástupem elektromigračních metod se volba pracovních modelů v této fázi vývoje ústavu postupně přesouvala z látek typických pro chemii uhlovodíků do oblasti biologicky zajímavých objektů; začala se tak vytvářet základna pro rozvoj moderní metodologie klinické analýzy a nových metod humánní a veterinární diagnostiky. Počátky kolonové kapalinové chromatografie v ústavu časově spadaly do období, kdy se ve světovém vývoji tohoto oboru postupně prosazovala miniaturizace. Program se tak rozšířil o mikrokolonovou kapalinovou chromatografii.

V osmdesátých letech došlo k dalšímu rozšíření problematiky o frakcionaci tokem v silovém poli a objevily se první práce o analytické separaci pomocí tekutin v nadkritickém stavu. Vznikla též skupina odborníků orientovaná na vývoj instrumentace pro zachycování a analýzu stopových množství polutantů v životním prostředí.

V roce 1991 se ústav přestěhoval do nové budovy na Veveří ulici a zaměření ústavu se rozšířilo o spektrální metody a analýzy ovzduší. Po rozdělení Československa a vzniku Akademie věd České republiky se ze zanikajícího pražského Ústavu nukleární biologie a radiochemie připojila k ústavu skupina orientovaná na problematiku stopové prvkové analýzy.

Na základě zákona č. 341/2005 Sb. se právní forma ústavu změnila od 1. 1. 2007 na veřejnou výzkumnou instituci, v. v. i. V současnosti lze ústav charakterizovat jako vysoce odborné pracoviště zaměřené na vývoj nejmodernějších metod a instrumentace analytické chemie použitelných pro rozvoj dalších vědeckých oblastí, především biologických a medicínských věd, ochrany zdraví člověka a životního prostředí. Základní výzkum je zaměřen zejména na separační a spektrální metody, systémovou miniaturizaci a nanotechnologie a řeší problémy v oblasti proteomiky, genomiky, analýzy léčiv, tělních tekutin a monitorování životního prostředí. Výsledkem činnosti jsou publikace v mezinárodních časopisech s vysokou hodnotou impaktního faktoru, knihy a kapitoly v monografiích, patenty a prototypy nových měřicích zařízení. Pracovníci působí v edičních radách zahraničních odborných časopisů, jsou zváni na mezinárodní konference a sympozia, účastní se řady národních i mezinárodních vědeckých projektů. Od roku 2004 ústav každoročně pořádá mezinárodní konferenci CECE (původně zkratka názvu Central European Capillary Electrophoresis), v roce 2010 organizoval významnou mezinárodní konferenci MicroScale Bioseparations MSB 2010.

V čele ústavu stál od založení až do roku 1980 prof. Ing. Jaroslav Janák, DrSc., dr. h. c., kdy byl vystřídán Ing. Josefem Jančou, DrSc., a vedení se znovu ujal v letech 1990–1993. Dalším ředitelem v období 1993–2001 byl prof. RNDr. Petr Boček, DrSc., a po něm v letech 2001–2005 RNDr. Josef Chmelík, CSc. Od roku 2005 do 31. 5. 2017 stála v čele ústavu prof. RNDr. Ludmila Křivánková, CSc., a od 1. 6. 2017 je ředitelem Ing. František Foret, DSc.

Významné osobnosti ústavu

Prof. Ing. Jaroslav Janák, DrSc., dr. h. c. (1924-2020)

Průkopník plynové chromatografie u nás i v zahraničí pověřený založením Laboratoře pro analýzu plynů, posléze transformované na Ústav (instrumentální) analytické chemie Československé akademie věd v roce 1956. Pod jeho dlouholetým vedením se stal Ústav (instrumentální) analytické chemie ve svém oboru prestižním střediskem výzkumu a vědecké výchovy.

Po absolvování Vysoké školy chemicko-technologické v Praze (1947) vedl prof. Jaroslav Janák analytickou laboratoř Chemických závodů v Litvínově, odkud přešel do vznikajícího Ústavu pro naftový výzkum v Brně (1951). Originální Janákova myšlenka analýzy plynů na chromatografické koloně s oxidem uhličitým jako mobilní fází vedla k sestrojení přístroje vlastní konstrukce, který byl patentován v Československu v roce 1952 a s odstupem času se ukázal být prvním patentem plynového chromatografu uděleným ve světě.

Jaroslav Janák stál při vzniku a profilování mezinárodních oborových časopisů (Journal of Chromatography, Amsterdam, Holandsko a Journal of Gas Chromatography, nyní Journal of Chromatographic Science, Niles, IL, USA), kde byl po několik desetiletí členem edičních rad, editorem bibliografické sekce a speciálních tematických čísel časopisu. Byl účasten zrodu zahraničních vědeckých společností– The Chromatographic Society, London, a Scientific Exchange Agreements, Paris. Publikoval přes 300 původních prací a přehledových článků, 12 patentů a je spoluautorem 7 odborných knih, např. monografie Liquid Column Chromatography (Elsevier, Amsterdam, 1975).

Za své celoživotní dílo byl oceněn řadou medailí a dalších poct: medaile M. S. Tswetta „Za vynikající výzkum v chromatografii“ (Mnichov, Německo 1974), zlatá pamětní medaile M. S. Cvěta (Tallin, Estonsko 1978), zlatá plaketa Jaroslava Heyrovského ČSAV (Praha, 1984) a čestná medaile Akademie věd ČR „DE SCIENTIA ET HUMANITATE OPTIME MERITIS“ (Praha, 2005). Byl čestným členem České i Slovenské chemické společnosti a dlouholetým předsedou brněnské pobočky Chemické společnosti. Přispěl ke znovuobnovení Chemické fakulty VUT v Brně (1992). I proto mu byla udělena vědecká hodnost doktora honoris causa této školy (Brno, 1996). V roce 2009 pak obdržel Cenu města Brna v oblasti „technický pokrok“. V roce 2014 mu byla udělena Ústavem analytické chemie AV ČR, v. v. i., Cena Jaroslava Janáka za rozvoj analytické chemie.

Prof. RNDr. Miloš Vlastislav Novotný, DrSc., dr. h. c.

V roce 1965 byl přijat na studijní pobyt do Ústavu analytické chemie ČSAV v Brně, kde spolupracoval s nestory chromatografických metod, prof. Ing. Jaroslavem Janákem, DrSc., dr. h. c., Ing. Josefem Novákem, DrSc., a RNDr. Karlem Tesaříkem a osvojil si nové znalosti v oboru teoretických a instrumentálních základů chromatografie. Jeho práce o kapilární plynové

chromatografii, publikované v roce 1968, později nabyly světového uznání a zařadily se mezi nejvíce citované práce ústavu v tehdejší době.

V roce 1968 odjel M. V. Novotný na stáž do Švédska na Karolinska Institutet ve Stockholmu a v roce 1969 nastoupil jako postgraduální student na University of Houston v Texasu v USA. Pod vedením A. Zlatkise pokračoval ve vývoji nových kapilárních kolon a metod hmotnostní spektrometrie s cílem použít je při biochemických analýzách steroidních hormonů a přírodních látek. Od roku 1971 působil na Indiana University v Bloomingtonu (IN). V roce 1974 zkonstruoval mikrochromatografické zařízení, které bylo vyneseno americkou kosmickou sondou Viking na Mars (Viking Mars Lander 1975). Od konce osmdesátých let se M. V. Novotný cíleně zabýval převážně biologicko-analytickou tematikou týkající se problematiky vývoje metod pro stanovení a identifikaci biologicky aktivních makromolekulárních látek. Je autorem více než 500 vědeckých publikací a jedním z nejcitovanějších chemiků na světě.

Prof. Novotný získal četná mezinárodní uznání – víc než čtyřicet různých řádů, medailí a ocenění a rovněž čtyři prestižní ceny Americké chemické společnosti (American Chemical Society Award). Získal také řadu čestných doktorátů, v roce 1991 čestný doktorát švédské univerzity v Uppsale, v roce 1992 čestný doktorát chemických věd Masarykovy univerzity v Brně, v roce 2007 čestný doktorát Karlovy univerzity v Praze. V roce 1994 získal prestižní ocenění časopisu Research and Development Magazine – Scientist of the Year. V roce 1999 byl zvolen zahraničním členem Švédské královské společnosti pro vědy a v roce 2004 se rovněž stal čestným členem Učené společnosti České republiky. V roce 2015 obdržel od Akademie věd čestnou oborovou medaili Jaroslava Heyrovského za zásluhy v chemických vědách.

Ing. Josef Novák, CSc. (1932-1986)

Ing. Novák byl spoluzakladatelem Ústavu analytické chemie AV ČR. Při zaměstnání vystudoval chemii na Fakultě anorganické technologie Vysoké školy chemicko-technologické v Praze, kde pokračoval ve studiu i po získání inženýrského titulu a v roce 1965 obhájil hodnost kandidáta chemických věd. Doktorskou disertační práci pojednávající o teoretických základech kvantitativní analýzy kolonovou chromatografií, kterou vypracoval na Ústavu instrumentální analytické chemie, mu z politických důvodů v roce 1986 nebylo umožněno obhájit. Stala se však základem pro druhé vydání monografie Quantitative Analysis by Gas Chromatography v nakladatelství Marcel Dekker v roce 1988.

Za svého působení na ústavu se orientoval na kvantitativní analýzu plynovou chromatografií se zvláštním zřetelem na stopovou analýzu, fyzikálně-chemickou podstatu chromatografických detektorů, relace mezi analytickým signálem separovaných látek a odezvou detektoru. Jeho metody byly a stále jsou ve světě používány. Uplatnění našly např. i při výzkumu horních vrstev atmosféry v průběhu letu Apolla 12.

Ing. Novák se stal světově uznávaným expertem na termodynamické interpretace chromatografických retenčních dat. Je autorem nebo spoluautorem více než 100 původních vědeckých prací a 19 patentů. Byl autorem nebo spoluautorem 4 knih, z nichž nejvýznamnější je publikace Quantitative Analysis by Gas Chromatography (Marcel Dekker, New York, 1975, 2. vyd. 1988).

Od roku 1964 byl členem Československé společnosti chemické, v níž později působil jako vědecký tajemník odborné skupiny zaměřené na chromatografii. Od roku 1971 působil v redakční radě časopisu Journal of Chromatography.

V roce 1992 mu byla „in memoriam“ udělena zlatá medaile J. Heyrovského za zásluhy v chemických vědách.

Prof. RNDr. Petr Boček, DrSc.

Průkopník analytických elektroforetických metod u nás i v zahraničí. V roce 1964 ukončil magisterské studium v oboru chemie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Jana Evangelisty Purkyně, nyní Masarykovy univerzity v Brně, kde také v roce 1967 získal v tomto oboru titul RNDr.

V roce 1964 začal pracovat ve Výzkumném ústavu makromolekulární chemie v Brně a od roku 1966 v Ústavu analytické chemie AV ČR. Založil oddělení analytické izotachoforézy (později elektromigračních metod). Vlastní vědeckou invenci a předvídavost vždy kombinoval s úzkým pracovním kontaktem s dalšími významnými světovými oborovými pracovišti a vědci: Technickou univerzitou v Eindhovenu, Holandsko (prof. F. M. Everaerts, Dr. J. Beckers), National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA (prof. A. Chrambach), Institutem klinické farmakologie v Bernu, Švýcarsko (prof. W. Thormann), Istituto di Cromatografia del CNR v Římě, Itálie (dr. S. Fanali), Přírodovědeckou fakultou UK v Praze (prof. J. Vacík, prof. B. Gaš), Přírodovědeckou fakultou UK v Bratislavě (prof. D. Kaniansky), Přírodovědeckou fakultou UP v Olomouci (prof. Z. Stránský) a dalšími.

V letech 1993-2001 vykonával funkci ředitele Ústavu analytické chemie AV ČR. Byl členem redakčních rad významných oborových světových časopisů (Electrophoresis, Journal of Chromatography, Journal of Microcolumn Separations, Journal of Biochemical and Biophysical Methods, Analytical Biochemistry, Journal of Capillary Electrophoresis, Current Analytical Chemistry) a Senior Deputy Editorem prestižního časopisu Electrophoresis (Wiley-VCH). Je spoluautorem dvou monografií o analytické izotachoforéze a analytické elektroforéze, Analytical Isotachophoresis (VCH, Weinheim, 1988) a Capillary Zone Electrophoresis (VCH, Weinheim, 1993). Jeho práce byla oceněna cenami vědeckého Kolegia chemie ČSAV (1969 a 1978) a cenou ČSAV (1992).

Za dobu svého působení v oboru elektromigračních metod si prof. Boček vysloužil vysoké mezinárodní renomé, jehož důkazem je celosvětově používaný pojem „Brněnská elektroforetická škola“, a v této souvislosti mu bylo u příležitosti 65. narozenin věnováno speciální číslo časopisu Electrophoresis (Electrophoresis, 2006, roč. 27, č. 23).

Je autorem a spoluautorem více než 250 vědeckých prací. Jeho práce podle Web of Science zaznamenaly k 5.5.2026 celkem 9673 citací (H-index 55), čímž se prof. Boček řadí k nejcitovanějším českým chemikům. V roce 2016 mu Ústav analytické chemie AV ČR, v. v. i., u příležitosti 60 let výzkumu na ústavu udělil Cenu Jaroslava Janáka za rozvoj analytické chemie.

Prof. RNDr. Ludmila Křivánková, CSc.

Prof. Ludmila Křivánková je první ředitelkou ÚIACH. Vystudovala obor biochemie na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně. V roce 1974 obhájila dizertační práci v oblasti bioenergetiky a získala titul RNDr. Titul CSc. získala po obhajobě kandidátské dizertační práce v roce 1993. V roce 1997 úspěšně habilitovala jako docentka na Masarykově univerzitě

v Brně a v roce 2004 byla jmenována řádnou profesorkou. Na Ústavu analytické chemie Akademie věd České republiky pracovala v oddělení elektromigračních metod. V letech 1993 až 2001 zastávala funkci vedoucí oddělení. Určovala směry výzkumu v oblasti izotachforetických efektů v kapilární zónové elektroforéze a řešila úkoly s tím spojené. Přednášela na Masarykově a Mendelově univerzitě v Brně a na Univerzitě Pardubice. Vedla řadu diplomantů a doktorandů. Je autorkou a spoluautorkou více než sta vědeckých článků, přehledů a kapitol v odborných publikacích z oblasti analytické chemie a elektroforézy. Přednášela na řadě významných mezinárodních konferencí. Mnoho let byla členkou ediční rady mezinárodních vědeckých časopisů *Electrophoresis* a *Current Analytical Chemistry*. Během svého prvního období ve funkci ředitelky (2005-2007) Ústav analytické chemie úspěšně převedla na veřejnou výzkumnou instituci, kterou vedla dalších deset let do roku 2016.

Společenská stránka vnitřního života ústavu před rokem 1989

I když období před 17. listopadem 1989 bylo poznamenáno politickou nesvobodou, při správném uchopení a důvěře mezi zúčastněnými bylo možné některé oficiality zlidštit. Pochodové cvičení tak mohlo být vyplněno relaxovanou procházkou brněnským okolím a cvičení CO (pro nepamětníky: civilní obrany) stráveno entomologickou exkurzí na svazích Pavlovských vrchů. V zimě – tehdy ještě býval sníh i v blízkém okolí Brna – měli zejména mladší členové osazenstva v oblibě závod v běhu na lyžích na trase Útěchov – okraj Vranova a zpět (zčásti po trase zelené turistické značky).

Přínos těchto neoficiálních akcí přitom zdaleka nebyl pouze zdravotní, plynoucí z pohybu na čerstvém vzduchu. Doprovodné neformální diskuse se často stočily k aktuálně řešeným zapeklým problémům a netypická skladba diskutujících mohla přinést náhledy na problém z neobvyklého úhlu. Do určité míry tedy tyto akce plnily roli, kterou bychom dnes označili jako „teambuilding“. Někde zde má patrně původ výrazný a stále přetrvávající rys činnosti ústavu – rozsáhlé „křížové opylování“ mezi jednotlivými výzkumnými týmy a tématy. Zejména to platí pro navrhování a vývoj laboratorních přístrojů a nástrojů pro analytické separace a pro „spojky“ mezi separační metodou a detekční technikou.

V jistém směru – řečeno s klasikem – to pro tehdy nastupující mladou vědeckou generaci byla doba her a malin nezralých.

Z pracovního hlediska – řečeno jazykem starých zbrojnošů – to byla blažená doba, kdy „z každého nástřiku do chromatografu byla publikace“.

Napsali o nás - vzpomínky, pozdravy a přání našich kolegů k 70. výročí vzniku Ústavu

My Memories of the Institute of Analytical Chemistry

I have had a close relation to the Institute of Analytical Chemistry since the 1960s. At that time, and until 1989, Czechoslovakia was part of the USSR and ties to the West were limited. Yet the Institute director, Dr. Jaroslav Janak, knew that for the Institute to be impactful it had to have interactions with European and US analytical scientists, especially in the field of chromatography. The research published at this time from Brno was high quality and published in the top analytical journals.

I first met Jaroslav Janak at chromatography symposia in Europe and then visited Brno. I remember the problems traveling by bus from Vienna to Brno with an American passport. At the Institute, I met many members along with Dr. Janak. I learned much of the problems faced in doing science in the Institute at that time. I became close to Stan Wicar, an excellent researcher, and helped him come to my lab at Northeastern for study. A famous story involving Stan occurred during one of my visits to Brno. He wanted to take me to a top restaurant and insisted I order steak. When it came, it was almost impossible to chew, but I had to tell Stan and his colleagues it was wonderful. Later he found out how I really felt. But after 1989, I again ate a steak at the same restaurant, and it was quite good. Freedom allowed a great improvement in the food!

Over the years I have had a number of researchers from the Institute come to work in my lab at the Barnett Institute. First, the Institute's current director, Franta Foret, was at Barnett for 10 years. He made a significant impact in the lab's research productivity and was a wonderful mentor to many students in the 1990s. He is a major figure in capillary electrophoresis. Jan Berka was a post doc in my lab in the mid 1990s and contributed greatly to DNA sequencing by capillary electrophoresis (Human Genome Project). He then went to continue DNA sequencing developments in industry followed by a long term impactful connection with Roche diagnostics in the DNA area. Tomas Rejtar came to my lab in 2000 as a post doc and spent 10 years with me, finishing as a research assistant professor. He made significant contributions in a number of areas, both in capillary electrophoresis and data processing. He then went to Novartis Biomedical Research in Cambridge where he now devotes his efforts in various areas in data analysis and AI.

Karel Kleparnik, already a senior researcher at the Institute, spent one year in my lab as a staff scientist. He contributed significantly to advancing capillary electrophoretic separation for DNA sequencing. He returned to the Institute where he made important advances in a variety of analytical areas. Jan Preister came to my lab in the late 1990s as a post doc after a post doc with Ed Yeung at the University of Iowa. He developed approaches to couple LC and CE to MALDI-TOF MS. He has gone on to become a professor at Masaryk University in Brno where he conducts high impact research in mass spectrometry and LC-MS. Petra Olivova came to my lab as a post doc in the early 2000s and conducted important research on sample prep for capillary electrophoresis and liquid chromatography. She worked at Waters and Sanofi and now is an active researcher on rare childhood diseases at ARCHIMEDlife in Austria. Finally, I note Marek Minarik, a student from Charles University, who came to my lab to study for a Ph.D. upon the recommendation of Franta Foret. Marek conducted successful research in

DNA mutational analysis. After working in DNA sequencing and analysis for a few years in the US, he returned to the Czech Republic where he has been highly successful in starting a company in DNA mutational analysis and continuing a company his father began in analytical instrumentation.

I listed all these successful scientists to emphasize the excellent training and research conducted at the Institute of Analytical Chemistry. After many years as a professor and institute director, I have come to realize that our most important contribution is the students and staff we produce who go on to have impactful careers. There is no question that the Institute has been highly successful in producing such students with important careers. I wish the Institute of Analytical Chemistry continuation of this success for many more years.

Barry L. Karger

Director Emeritus, Barnett Institute

James L. Waters Chair and Distinguished Professor Emeritus

Northeastern University

My professional relationship with the Institute of Analytical Chemistry of the Czech Academy of Sciences (UIACH) and personal friendship with some key members of the Institute go back to the mid 1990's when leading scientists from UIACH replaced the Hungarian "chromatography mafia" in the Barnett Institute (Northeastern University, Boston, MA). This relationship continued in the early years of the new millennium, when the Horváth Csaba Memorial Laboratory was established in Hungary with the support of the Marie Curie Actions of the European Research Council, and has been in close collaboration with UIACH, mainly through bilateral student exchanges and by attending and organizing CECE conferences. The mutual interest between our laboratories is capillary electrophoresis-based glycan analysis, including fluorophore labeling, sample preconcentration, and CE-MS interfacing. In 2012, by the invitation of Dr. Foret, I had the privilege of spending 9 months in the Institute with the support of a Fulbright visiting professorship grant. Since the early 2020's, we have been working together in the framework of a V4-Korea grant on new separation approaches for brain glycan mapping. I am also serving on the scientific advisory board of the Institute.

Andras Guttman

Professor at the University of Pannonia, Veszprem, Hungary



National Research Council
Canada

Conseil national de recherches
Canada

Institute for National
Measurement Standards

Institut des étalons
nationaux de mesure

Ottawa, Canada
K1A 0R6

NRC-CMRC

April 20, 2026

Prof. Frantisek Foret
Director
Institute of Analytical Chemistry of the CAS, v.v.i.
Veveri 97, 602 00 Brno
Czechia

Re: 70th Anniversary IAC Celebrations

Dear Prof Foret,

Thank you for the kind invitation to contribute shared experiences celebrating the 70th anniversary of the Institute of Analytical Chemistry of the Academy of Sciences of the Czech Republic. I have had a long association with staff at the IAC satellite laboratories in Prague and recall reading many scientific publications relating to trace element analyses that originated from there during my graduate studies in the 1970's. In the 1980's, I benefitted significantly from the foundational work contributed by Jiří Dědina (recently retired) and many of his IAC colleagues who are still active in the field of vapor generation, concentration and detection.

I am pleased to add that I have also enjoyed a long association with the Ioannes Marcus Marci Spectroscopic Society, having attended numerous conferences devoted to analytical spectroscopy since 1981, during which I had the pleasure of meeting many prominent members of the Czech/Slovak and East European analytical communities starting with my first Czechoslovak conference in Chlum u Třeboně. Over the years, our laboratories have benefitted from hosting staff visits by Drs. Tomáš Matoušek (2001) and Jan Kratzer (2009), from the Department of Trace Element Analysis, for periods of collaborative research. Most recently, direct collaborations with Dr. Stanislav Musil and his colleagues have been extremely rewarding from a personal perspective as they have opened the opportunity to share scientific experiences and move forward ideas in the vapor generation field of direct mutual interest, yielding 9 publications since 2018 in international journals. I am hopeful of continuing such interactions and it is always rewarding to meet IAC staff members at international conferences to be able to discuss their most recent research activities, apart from their already published accounts.

On this occasion of IAC's 70th anniversary, I extend my congratulations to all staff who have proudly contributed to the successes and international reputation enjoyed by the IAC, and wish all of you enjoyment in further developing your scientific careers and aspirations, leading future generations with further advances in analytical chemistry.

Kind regards,

Ralph Sturgeon

Canada

My wishes to IACH ... **the Institute**

It was a typical rainy, misty English morning in 1994 when I boarded a shuttle bus to the conference venue. As an enthusiastic—and clearly very naive—student preparing to present my first-ever poster at the 3rd International Symposium on Capillary Electrophoresis in York, UK, I spotted an empty seat next to a distinguished-looking gentleman. Recognizing him as a countryman, I fearlessly introduced myself:

„Hello, I am from Prague, a student of Bob Gas, currently working for Ernst Kenndler in Vienna, where do you work?“ I asked fearlessly.

„I am from the Institute of Analytical Chemistry in Brno“, he replied.

„That is interesting,“ I continued boldly, *“I know several papers on ITP and CZE from there. Do you also work as a scientist?“*

He couldn't hide a giggle. *“Well... actually, right now, I happen to be the Director of **the Institute.**“*

That man was Petr Boček. Little did I know then what a profound impact **“the Institute”** - and that delightfully embarrassing encounter - would have on my life. Through Petr, I was introduced to Franta Foret, who paved my way to the Barnett Institute at Northeastern University in Boston. It was there that the foundations of my future career were laid. While in the U.S., aside from my mentor Franta, I met other wonderful people, many of whom hailed from **the Institute**, including Stan Vičar, Karel Klepárník, and Ladá Dolník.

Following my seven-year American adventure, I returned to Prague and immediately reconnected with my former **“Brno gang”** at **the Institute**. This sparked new endeavors, both scientific and personal, involving countless visits to Brno and meetings at conferences like CE-CE, ITP, and MSB. Over the next 25 years, my collaborations with various groups at **the Institute** resulted in seven grant-funded projects, numerous joint papers, presentations, patents, and utility models.

To this day, I always look forward to my visits. Entering that brutalist building at Veveří 97 is always a highlight - a time for stimulating discussions, learning something new, and, most importantly, reconnecting with dear friends.

Finally, it was a true privilege to be nominated by **the Institute** to serve as an industry member of the Academy Assembly, the supreme body of the Czech Academy of Sciences, for two electoral terms (2014 – 2018 and 2018 - 2022).

To wrap up my wishes: Thank you for your warm hospitality over all these years. Thank you for accepting me - nothing more than a "Praguer" - among you, the true Brno patriots. Thank you for the past and ongoing collaborations with my colleagues at my companies. Congratulations to **the Institute** on years of extraordinary scientific achievements. I wish you many more years of innovative people and ideas.

Most of all: **Happy 70th Birthday, IACH!**

Marek Minárik, CEO of Watrex, Elphogene and MedicMee, Praha

(watrex.com, elphogene.cz, medicmee.com)

Dear Director,

I am pleased and even a little moved to recall my collaboration with the IACH group, now part of the Department of Trace Element Analysis in Prague, which began more than thirty years ago.

I began my collaboration with Jiří Dědina after our first meeting at CSI XXVII (Bergen, 1991). At that time, Jiří Dědina was carrying out his research at the Institute of Nuclear Biology and Radiochemistry (Czechoslovak Academy of Sciences, Prague) before it merged with the IACH, while I was carrying out mine at the Institute of Instrumental Analytical Chemistry of CNR (Pisa, Italy).

The first joint project ("Optimization of hydride atomization for atomic spectrometry," 1993–1995) was supported by the European Commission through the P.E.C.O. program. Our collaboration would continue, involving our research groups through bilateral projects supported by the ASCR and the Italian CNR (1993–1995; 1996–1999; 2000–2003). The studies were focused on the development and optimization of atomizers for volatile hydrides, and on the study of the mechanism of atomization and interference using both atomic absorption and atomic fluorescence spectrometry. The results yielded original and innovative aspects, published in prestigious international journals. In addition to Dědina and I as project leaders, the research involved Tomáš Matoušek and Anna Selecká for IACH, and Leonardo Lampugnani (CNR) and Roberto Zamboni (University of Pisa). Subsequently, the interactions continued through cooperative research on the same topic, involving Jiří Dědina (IACH), Leonardo Lampugnani, Massimo Onor and myself (CNR), and Dimiter Tsalev and Irina Kardjova (University of Sofia).

More recently, Jiří Dědina, Jan Kratzer, Tomáš Matoušek and Stanislav Musil gave important contributions to a book edited by me and Raph Sturgeon on the fundamental aspects of vapor generation techniques (Elsevier, 2022), and Beatrice Campanella (CNR) collaborated with Stanislav Musil (IACH) in the identification of photochemically generated volatile species of Ru and Os.

I have wonderful memories of my stays in Prague and the friendships I formed with all the IACH group members mentioned above, as well as fond memories of others, including Vlasta Korunova, Miroslav Vobecky, and Bob Dočekal, whom I met and associated with during my research periods at the IACH in Prague. It was an opportunity for me to learn about cultures and people, some of whom are no longer with us, who contributed to enriching me both scientifically and personally.

Alessandro D'Ulivo

Associate Researcher (Emeritus)

CNR; Institute of Chemistry of Organometallic Compounds

Pisa, Italy



CHARLES UNIVERSITY
Faculty of Pharmacy
in Hradec Králové

May 28, 2026

Dear Colleagues and Friends of the Institute of Analytical Chemistry in Brno,

I am pleased to extend my heartfelt congratulations on the occasion of the 70th anniversary of the Institute. For seven decades, the Institute has stood as a symbol of scientific excellence, innovation, and dedication to advancing analytical chemistry, in my opinion that I share with many others. Through its pioneering research, outstanding publications, and meaningful internal and international collaborations, the Institute has made a lasting contribution to both Czech and global science.

I first visited your Institute back in the 1980s on different occasions, when it was still located in the old building on Kounicova Street. I was therefore all the more excited, then, when you moved to the new building on Veveří Street, which enabled the Institute to further develop its scientific research in a first-rate location.

The Institute's achievements are inseparably linked to the generations of researchers, educators, technicians, and students whose expertise, creativity, and perseverance have shaped its remarkable history. Although our initial scientific collaboration was limited, I had the opportunity to familiarize myself with the Institute's staff and research in more detail. In particular, I admired the Institute's commitment to fostering young scientific talent.

It was through this commitment that I met Jana Křenková (now Lavická) in 2006. She was a young researcher who later joined my group at the University of California, Berkeley, as a postdoc and worked there for three years. Thanks to her curiosity, hard work, and dedication, we establish a successful collaboration with Pfizer Global Biologics, resulting in several publications in top analytical journals. After returning to Brno, Jana joined the institute. Judging by her results, she is doing very well.

This partnership also paved the way for even closer cooperation, culminating last year in a joint research project within our department and your Institute of Analytical Chemistry called ATEBIO, which is successfully ongoing.

Anniversaries offer an opportunity to celebrate past accomplishments and look toward the future. May the next decades bring continued success, groundbreaking discoveries, fruitful partnerships, and enduring enthusiasm for science.

Please accept my congratulations and best wishes to all Institute's members on this important milestone.

I am confident that the Institute of Analytical Chemistry will continue to flourish as a respected center of research, innovation, and academic excellence.

With best regards,

František Švec

Akademika Heyrovského 1203/8,
500 05 Hradec Králové, Czech Republic
tel. (+420) 722 509 545
e-mail: svecfr@faf.cuni.cz | www.faf.cuni.cz

Congratulations to the Institute of Analytical Chemistry of the Czech Academy of Sciences in Brno on its 70th anniversary. Looking back, I feel very grateful to have been part of collaborations that led to high quality publications. Specifically, I would like to mention the innovative capillary electrophoresis fraction collector (Electrophoresis 2003, <https://doi.org/10.1002/elps.200390075>) and later the very original solution for preparative macromolecule concentration (Analytical Chemistry 2019, <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b05860> and in Scientific Reports, 2021; <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02214-1>). These projects captured many of the things that make the institute such a special place to work with.

What stands out most is the openness and support from the institute's past and present leadership, which created an environment where ambitious ideas and international collaborations could really grow. Scientists from different fields came together to build genuinely interdisciplinary projects connecting analytical chemistry with biology, engineering, medicine, and technology. The teamwork was exceptional, and there was always a sense that everyone was working toward something exciting together.

An especially valuable part of these collaborations was the opportunity for visiting scientists from Brno to experience major biotech environments in the United States, including both Boston and San Francisco. These exchanges brought new perspectives, fresh ideas, and lasting professional connections, while also helping bridge academic research with the biotech industry.

At the same time, what I remember just as strongly as the science is how much fun we had along the way - long discussions in the lab, problem solving as a team, conference trips, dinners, beaches and redwood forests, and friendships that grew naturally through the collaborations. The institute has always combined excellent science with a welcoming and collaborative spirit, and that combination is something truly worth celebrating.

I wish the Institute of Analytical Chemistry many more years of scientific success, innovation, and international collaboration.

Jan Berka, Consultant, i&I Prague. Formerly Senior Director of Discovery Research, Roche Diagnostics, Pleasanton, CA, USA.

Institute of Analytical Chemistry

In 1979 I quit my job in a municipal hospital and joined the Institute of Analytical Chemistry, specifically the group of electromigration methods. The group had just become rather smaller, obviously that is why there was an available opening. In fact, there were only Petr Boček and Mirko (Mirek) Deml there. But what an excellent tandem they made! Petr as a chemist was developing new chemistry strategies, while Mirek, as an electrical engineer was solving technological problems. I could not believe how Mirek was able to creatively find surprising solutions for challenging technological problems. (Years later I collaborated with a guy, who matched Mirek's skills, so I privately called him Californian Mirek.)

After joining the Institute, isotachopheresis came into my life. Really fascinating method, this isotachopheresis. As its compound name indicates, after separating analytes, it forces them to migrate with the same velocity. I loved to explain this rather esoteric behavior to anyone who was willing to listen. After a few sentences, they usually thanked me and quickly changed the topic. So they missed simplified explanation of enforced isotachopheresis, a migration mode studied in detail by Petr Gebauer. Petr, who joined the group in the same time as myself, has been a true wizard of this peculiar phenomenon.

Anyway, isotachopheresis is a useful separation method. At the end of separation, the ionogenic compounds migrate in the zones with adjusted concentrations. Therefore, trace components from the sample thus concentrate into their detectable pure zones. That makes isotachopheresis excellent method for analysis of trace or ultra trace ionogenic compounds. Not surprisingly, the method showed its extreme potential in analysis of organic acids in body fluids, particularly in case of organoacidemias.

The group of electromigration methods further expanded, when Jan Pospíchal, Ludmila Křivánková and František Foret joined the crew. With a nostalgia of an old-timer, I recall our loud discussions of apparently banal problems that in fact were not banal at all. Of course, the times in those days under the communist regime were not idyllic. Nevertheless, in the lab one had scientific freedom and could do something meaningful and sometimes even useful. I have been grateful for the opportunity to be member of this excellent team.

Vladislav Dolník, Vědecký pracovník UIACH (1979-1997), zakladatel Alcor BioSeparations LLC, Palo Alto, CA, USA a český spisovatel - www.dolnik.cz

Úspěšný sedmdesátník na Veverí

B | R | N | O

Ústav analytické chemie Akademie věd ČR, v. v. i., slaví sedmdesátiny. Z někdejší laboratoře umístěné v brněnském činžáku se stal mezinárodně respektovaný vědecký ústav s vlastními důstojnými prostory. S jeho ředitelem Ing. Františkem Foretem, DSc., jsme mluvili o začátcích, o lidech, kteří ústav formovali, i o tom, proč se sem mladí vědci rádi vracejí ze zahraničních praxí. A samozřejmě o přínosech zdejších výzkumů.



Dnešní sídlo Ústavu analytické chemie Akademie věd ČR na ulici Veverí

Přibližte nám, prosím, alespoň stručně historii vzniku ústavu.

Ústav vznikl v roce 1956 díky aktivitám profesora Janáka jako laboratoř pro analýzu plynů. V té době to byla mimořádně důležitá oblast, protože plyny i ropa se tenkrát analyzovaly velmi obtížně. Profesor Janák přišel s metodou, jež byla předzvěstí dnešní plynové a kapalinové chromatografie, a vyvinul přístroj, který se pak používal desítky let po celém světě.

Dodnes máme jeden z nich vystavený u vrátnice. Věnovala nám ho společnost British Petroleum poté, co ho přestala používat, po více než dvaceti letech provozu. Už ta délka používání ve společnosti světové úrovně mluví sama za sebe.



Budova na ulici Veveří, v níž ústav sídlil

Kdy jste se Vy sám seznámil s ústavem?

Přišel jsem na exkurzi jako student gymnázia, a to v podstatě rozhodlo o mém budoucím profesním životě. Ústav tehdy sídlil v činžáku na tehdejší Leninově ulici, laboratoře byly v jednotlivých pokojích bytů, vybavení bylo zastaralé, ale nápady vynikající. Pamatuju si první kapalinový chromatograf – jako první vzorek do něj dali frankovku a dostali tři píky (*vrcholy analytické křivky v grafu – pozn. red.*). To mě úplně nadchlo. A ještě jedna věc, pro mě hodně důležitá – neříkali si tam „soudruhu“, ale „pane“ a „paní“. To bylo v té době naprosto, naprosto výjimečné.

Z gymnázia jste tedy šel na vysokou školu a kam potom?

Po vysoké škole jsem se sem vrátil a zůstal jsem, s desetiletou přestávkou, kdy jsem byl pracovat v USA. S manželkou jsme původně neplánovali návrat, ale v určitou chvíli k němu dospěly rodinné okolnosti. Ty rozhodly. Dneska si myslím, že to byl správný krok.

Jak se ústav za tu dobu změnil?

Věnujeme se analytické chemii v mnohem širším smyslu – bioanalýzám, medicíně, diagnostice a materiálovým vědám. Máme pět vědeckých oddělení včetně jednoho pracoviště v Praze. Přístrojové vybavení je samozřejmě moderní. Klíčové ovšem nejsou jen kvalitní přístroje, klíčoví jsou lidé. Vychováváme si vlastní studenty, kteří u nás dělají na své doktorské práci, po doktorátu odcházejí do zahraničí a část z nich se vrací. Zhruba polovina, což není běžné. Na to jsme docela hrdí.

Důvodem je jistě prostředí ústavu i samo Brno jako město, kde se dobře žije, po všech stránkách. Je tak akorát velké, má výbornou polohu z hlediska krajiny i dopravy, občanské vybavení a vyklubalo se z něho město vědy a studentstva.

Můžete uvést příklad úspěšné spolupráce se zahraničím?

Například spolupráce s firmou Roche vedla k vývoji zařízení, které dokáže zakoncentrovat velmi malé množství DNA. To je důležité například při sledování návratu nádorových onemocnění.

Vývoj od nápadu po produkt není jednoduchý, trvá typicky sedm až osm let.

Jedna spolupráce vznikla kuriózní náhodou – doktorand seděl na Bláhovce na pivu a vedle něho nějací lidé, kteří se bavili o nanomateriálech. Dal se s nimi do řeči, protože se téhle

problematice věnoval, a uvědomil si, že mají asi dost společného. Byli to kolegové z Mendelovy univerzity. Výsledkem byla spolupráce ústící do technologie impregnace dřeva pomocí nanočástic železa a evropský patent.

Náhoda?

Náhoda slouží málokdy, ale připraveným někdy ano.

Jak vidíte budoucnost?

Jako zajímavou v mnoha směrech. Perspektivní je například výzkum upkonverzních nanočástic, které umožňují extrémně citlivou detekci až na úrovni jednotlivých molekul. Jsme blízko k medicíně, děláme analýzy ze suchých krevních skvrn i analýzy glykovaných proteinů, které umožňují odhalit závažná onemocnění. Analyzujeme aerosoly ve vzduchu i částice v dechu, které mohou vypovídat o stavu organismu. A řadu jiných věcí, ale to bych začal mluvit moc odborně.



Nevědecké výsledky práce zaměstnanců. I když – kdo ví?
Každoroční předvánoční soutěž v pečení vánoček

Co zůstává tradicí ústavu?

To, že pořád objevujeme nové věci. A že tady intenzivně pracují vysoce kvalifikovaní a zodpovědní lidé, které to baví. Pro zájemce pravidelně organizujeme Dny otevřených dveří a virtuální prohlídka ústavu je zachycena na Street View & 360° v mapách Google – <http://bit.ly/4bAexxt>.

Děkuji za rozhovor a přeji dalších úspěšných 70 let.

RNDr. Miroslav Sedláček <https://in.brno.cz/uspesny-sedmdesatnik-na-veveri/>
„Newsletter Odboru strategického rozvoje a spolupráce Magistrátu města Brna, duben 2026“.

Publikace – ilustrativní výběr

Jako ilustraci publikační aktivity ústavu zde uvádíme seznam publikovaných prací, které byly v letech 2016 – 2025 vybrány jako přílohy výročních zpráv o činnosti ústavu.

Vybrané publikace 2016:

Malá, Zdeňka; Gebauer, Petr; Boček, Petr. New methodology for capillary electrophoresis with ESI-MS detection: Electrophoretic focusing on inverse electromigration dispersion gradient. High-sensitivity analysis of sulfonamides in waters. *Analytica Chimica Acta* 2016, Roč. 935, SEP, s. 249-257. ISSN 0003-2670.

Roth, Michal. Partition coefficients of organics between water and carbon dioxide revisited: Correlation with solute molecular descriptors and solvent cohesive properties. *Environmental Science and Technology* 2016, Roč. 50, OCT, s. 12857-12863. ISSN 0013-936X.

Křenková, Jana; Klepárník, Karel; Grym, Jakub; Luksch, Jaroslav; Foret, František. Self-aligning subatmospheric hybrid liquid junction electrospray interface for capillary electrophoresis. *Electrophoresis* 2016, Roč. 37, č. 3, s. 414-417. ISSN 0173-0835.

Vybrané publikace 2017:

Kubáň, Pavel. Salt removal from microliter sample volumes by multiple phase microelectromembrane extractions across free liquid membranes. *Analytical Chemistry* 2017, Roč. 89, č. 16, s. 8476-8483. ISSN 0003-2700.

Vojtíšek-Lom, M.; Beránek, V.; Mikuška, Pavel; Křůmal, Kamil; Coufalík, Pavel; Sikorová, Jitka; Topinka, Jan. Blends of butanol and hydrotreated vegetable oils as drop-in replacement for diesel engines: Effects on combustion and emissions. *Fuel* 2017, Roč. 197, JUN, s. 407-421. ISSN 0016-2361.

Matoušek, Tomáš; Wang, Z.; Douillet, Ch.; Musil, Stanislav; Stýblo, M. Direct speciation analysis of arsenic in whole blood and blood plasma at low exposure levels by hydride generation-cryotrapping-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytical Chemistry* 2017, Roč. 89, č. 18, s. 9633-9637. ISSN 0003-2700.

Vybrané publikace 2018:

Dvořák, Miloš; Seip, K. F.; Pedersen-Bjergaard, S.; Kubáň, Pavel. Semi-automated set-up for exhaustive micro-electromembrane extractions of basic drugs from biological fluids. *Analytica Chimica Acta* 2018, Roč. 1005, APR, s. 34-42. ISSN 0003-2670.

Šoukal, Jakub; Sturgeon, R. E.; Musil, Stanislav. Efficient photochemical vapor generation of molybdenum for ICPMS detection. *Analytical Chemistry* 2018, Roč. 90, č. 19, s. 11688-11695. ISSN 0003-2700.

Mikuška, Pavel; Čapka, Lukáš; Večeřa, Zbyněk. Aerosol sampler for analysis of fine and ultrafine aerosols. *Analytica Chimica Acta* 2018, Roč. 1020, s. 123-133. ISSN 0003-2670.

Vybrané publikace 2019:

Dvořák, P.; Talába, M.; Kratzer, Jan; Dědina, Jiří. Radical theory of hydride atomization confirmed after four decades - determination of H radicals in a quartz hydride atomizer by two-photon absorption laser-induced fluorescence. *Chemical Science* 2019, 10(12), 3643-3648. ISSN 2041-6520 doi: 10.1039/c8sc05655b

Foret, František; Datinská, Vladimíra; Voráčková, Ivona; Novotný, Jakub; Gheibi, P.; Berka, J.; Astier, Y. Macrofluidic device for preparative concentration based on epitachophoresis. *Analytical Chemistry* 2019, 91(11), 7047-7053. ISSN 0003-2700 doi: 10.1021/acs.analchem.8b05860

Křůmal, Kamil; Mikuška, Pavel; Horák, J.; Hopan, F.; Krpec, K. Comparison of emissions of gaseous and particulate pollutants from the combustion of biomass and coal in modern and old-type boilers used for residential heating in the Czech Republic, Central Europe. *Chemosphere* 2019, 229(AUG), 51-59. ISSN 0045-6535 doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.04.137

Vybrané publikace 2020:

Čapka, Lukáš; Mikuška, Pavel; Křůmal, Kamil. Determination of dicarboxylic acids in atmospheric aerosols using continuous aerosol sampler with on-line connected ion chromatography system. *Atmospheric Environment*. 2020, 222), 117178. ISSN 1352-2310 Dostupné z: 10.1016/j.atmosenv.2019.117178.

Duša, Filip; Moravcová, Dana; Šlais, Karel. DNA purification and concentration by isotachophoresis in nonwoven fabric strip. *Analytica Chimica Acta*. 2020, 1117(JUN), 41-47. ISSN 0003-2670 Dostupné z: 10.1016/j.aca.2020.04.029.

Hlaváček, Antonín; Křivánková, Jana; Pizúrová, Naděžda; Václavek, Tomáš; Foret, František. Photon-upconversion barcode for monitoring an enzymatic reaction with a fluorescence reporter in droplet microfluidics. *Analyst*. 2020, 145(23), 7718-7723. ISSN 0003-2654 Dostupné z: 10.1039/D0AN01667E

Vybrané publikace 2021:

Ryšavá, Lenka; Dvořák, Miloš; Kubáň, Pavel. Dried blood spot self-sampling with automated capillary electrophoresis processing for clinical analysis. *Angewandte Chemie - International Edition* 2021, 60(FEB), 6068-6075. ISSN 1433-7851. E-ISSN 1521-3773 Dostupné z: doi:10.1002/anie.202012997.

Cigánková, Hana; Mikuška, Pavel; Hegrová, J.; Krajčovič, J. Comparison of oxidative potential of PM1 and PM2.5 urban aerosol and bioaccessibility of associated elements in three simulated lung fluids. *Science of the Total Environment* 2021, 800(DEC), 1-8), 149502. ISSN 0048-9697. E-ISSN 1879-1026 Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149502.

Musil, Stanislav; Vyhnanovský, Jaromír; Sturgeon, R. E. Ultrasensitive Detection of Ruthenium by Coupling Cobalt and Cadmium Ion-Assisted Photochemical Vapor Generation to Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry* 2021, 93(49), 16543-16551. ISSN 0003-2700. E-ISSN 1520-6882 Dostupné z: doi:10.1021/acs.analchem.1c03739.

Vybrané publikace 2022:

Dvořák, M.; Miró, M.; Kubáň, P. Automated Sequential Injection-Capillary Electrophoresis for Dried Blood Spot Analysis: A Proof-of-Concept Study. *Analytical Chemistry*. 2022, 94(13), 5301-5309. ISSN 0003-2700. E-ISSN 1520-6882. Dostupné z: doi: 10.1021/acs.analchem.1c05130.

García-Figueroa, Adrián; Musil, Stanislav; Matoušek, Tomáš. Non-chromatographic Speciation Analysis of Tellurium by HG-ICP-MS/MS at Sub ng L⁻¹ Concentration in Natural Waters Using TIII as a Pre-Reducing Agent. *Analytical Chemistry*. 2022, 94(40), 13995-14003. ISSN 0003-2700. E-ISSN 1520-6882 Dostupné z: doi:10.1021/acs.analchem.2c03280.

Hlaváček, Antonín; Křivánková, Jana; Brožková, Hana; Weisová, Julie; Pizúrová, Naděžda; Foret, František. Absolute Counting Method with Multiplexing Capability for Estimating the Number Concentration of Nanoparticles Using Anisotropically Collapsed Gels. *Analytical Chemistry*. 2022, 94(41), 14340-14348. ISSN 0003-2700. E-ISSN 1520-6882 Dostupné z: doi:10.1021/acs.analchem.2c02989.

Hlaváček, A.; Farka, Z.; Mickert, M. J.; Kostiv, U.; Brandmeier, J. C.; Horák, D.; Skládal, P.; Foret, F.; Gorris, H. H. Bioconjugates of Photon-Upconversion Nanoparticles for Cancer Biomarker Detection and Imaging. *Nat. Protoc.* 2022, 17 (4), 1028–1072. [doi:10.1038/s41596-021-00670-7](https://doi.org/10.1038/s41596-021-00670-7).

Vybrané publikace 2023:

Hlaváček, Antonín; Uhrová, Kateřina; Weisová, Julie; Křivánková, Jana. Artificial Intelligence-Aided Massively Parallel Spectroscopy of Freely Diffusing Nanoscale Entities. *Analytical Chemistry* 2023, 95(33), 12256-12263. ISSN 0003-2700. E-ISSN 1520-6882 Dostupné z: doi:10.1021/acs.analchem.3c01043

Musil, Stanislav; Jeníková, Eva; Vyhnanovský, Jaromír; Sturgeon, R. E. Highly Efficient Photochemical Vapor Generation for Sensitive Determination of Iridium by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry* 2023, 95(7), 3694-3702. ISSN 0003-2700. E-ISSN 1520-6882 Dostupné z: doi:10.1021/acs.analchem.2c04660.

Moravčík, Ondrej; Dvořák, Miloš; Kubáň, Pavel. Autonomous capillary electrophoresis processing and analysis of dried blood spots for high-throughput determination of uric acid. *Analytica Chimica Acta* 2023, 1267(AUG), 341390. ISSN 0003-2670. E-ISSN 1873-4324 Dostupné z: doi:10.1016/j.aca.2023.341390.

Vybrané publikace 2024:

Karásek, Pavel; Planeta, Josef; Roth, Michal. Forming Homogeneous Three-Dimensional Structures from Discrete Silica Microspheres Using Sub/Supercritical Water. *ACS Applied Materials and Interfaces* 2024, 16(32), 42873-42883. ISSN 1944-8244. E-ISSN 1944-8252 Dostupné z: doi:10.1021/acsami.4c07251.

Sklenářová, D.; Hlaváček, Antonín; Křivánková, Jana; Brandmeier, J. C.; Weisová, Julie; Řiháček, M.; Gorris, H. H.; Skládal, P.; Farka, Z. Single-Molecule Microfluidic Assay for Prostate-

Specific Antigen Based on Magnetic Beads and Upconversion Nanoparticles. *Lab on a Chip* 2024, 24(14), 3536-3545. ISSN 1473-0197. E-ISSN 1473-0189.

Jeníková, Eva; Vyhnanovský, Jaromír; Hašlová, Karolína; Sturgeon, R. E.; Musil, Stanislav. Efficient Photochemical Vapor Generation from Low Concentration Formic Acid Media. *Analytical Chemistry* 2024, 96(JAN), 1241-1250. ISSN 0003-2700. E-ISSN 1520-6882 Dostupné z: doi:10.1021/acs.analchem.3c04472.

Vybrané publikace 2025:

Jedličková, Adriena; Kristeková, Daniela; Husáková, Z.; Coufalík, Pavel; Vrlíková, Lucie; Smutná, Tereza; Capandová, M.; Alexa, Lukáš; Lusková, Denisa; Křůmal, Kamil; Jakešová, Veronika; Večeřa, Zbyněk; Zezula, N.; Kanický, V.; Hampl, A.; Vaculovič, T.; Mikuška, Pavel; Dumková, J.; Buchtová, Marcela. Inhaled Lead Nanoparticles Enter the Brain through the Olfactory Pathway and Induce Neurodegenerative Changes Resembling Tauopathies. *ACS Nano* 2025, 19(13), 12799-12826. ISSN 1936-0851. E-ISSN 1936-086X Dostupné z: doi:10.1021/acsnano.4c14571.

Duša, Filip; Dadajová, Pavlína; Šesták, Jozef; Lavická, Jana. Effective coupling of light emitting diode to a commercial capillary electrophoresis laser-induced fluorescence instrument for high-sensitivity analysis of fluorescently labeled glycans. *Analytical Chemistry* 2025, 97(42), 23032-23039. ISSN 0003-2700. E-ISSN 1520-6882 Dostupné z: doi:10.1021/acs.analchem.5c05248

Dvořák, Miloš; Profousová, Sylvie; Kubáň, Pavel. Sorbent-less dried blood spot microsampling. *Advances in Sample Preparation* 2025, 16(NOV), 100221. ISSN 2772-5820. E-ISSN 2772-5820 Dostupné z: doi:10.1016/j.sampre.2025.100221

Jak bylo zmíněno, výše uvedený výběr publikací je pouze ilustrativní. Případní zájemci o detailnější přehled výsledků ústavu mohou využít specializovaných bibliografických databází. Nejúplnější přehled s filtrováním podle typu výstupu podává akademická databáze ASEP AV ČR (<https://asep-analytika.lib.cas.cz/>). Na stránkách ústavu jsou umístěny výpisy z této databáze po jednotlivých letech počínaje rokem 2001 (<https://www.iach.cz/cs/vyzkum/publikace/>).

Známa databáze Web of Science® (<https://www.webofscience.com/wos/woscc/smart-search>) je soustředěna především na publikace zveřejněné v časopisech včetně jejich citační odezvy.

Řešené grantové projekty – ilustrativní výběr

Trpělivá snaha o získávání účelové finanční podpory je nezbytnou podmínkou vědecké činnosti, protože samotné institucionální financování (nejen) našeho ústavu k tomu nepostačuje. Poskytovatelů různých typů účelové finanční podpory je celá řada; dá se říci, že v případě Ústavu analytické chemie AV ČR je nejvýznamnějším zdrojem účelové podpory (co do počtu projektů) Grantová agentura České republiky jako nejvýznamnější tuzemský zdroj účelové podpory základního výzkumu.

Dále uvedená tabulka uvádí jako příklad seznam grantových projektů, které jsme v ústavu řešili v posledním desetiletí (od roku 2016). Omezený rozsah tohoto textu nám neumožňuje uvést podrobnější přehled. Případní zájemci o detailnější údaje o jednotlivých projektech nebo o účelovou podporu pokrývající jiné období mohou využít veřejně přístupné datové oblasti Centrální evidence projektů (CEP) (<https://www.isvavai.cz/cep> , <https://msmt.gov.cz/vyzkum-a-vyvoj-2/cep-centralni-evidence-projektu>).

Granty řešené od roku 2016

Kód projektu	Poskytovatel	Název projektu	Rok zahájení	Rok ukončení	Zkratka názvu příjemce
8F17003	MŠMT ČR	Mikroelektroforetické nástroje pro bioanalýzu	2017	2020	ÚIACH
9F23002	MŠMT ČR	Development of High Sensitivity and High Resolution Analytical Tools for the Brain Glycans	2023	2026	ÚIACH
EH23_020/0008535	MŠMT ČR	Pokročilé techniky pro biomedicínskou diagnostiku (ATEBIO)	2025	2029	ÚIACH
GA13-01438S	GAČR	Mechanismy toxicity pevných emisí z biopaliv	2013	2017	ÚEM AV ČR
GA13-05762S	GAČR	Teorie, metodologie a vývoj progresivních chemických metod pro analýzu stopových složek a složitých vzorků kapilární elektroforézou	2013	2016	ÚIACH
GA14-23532S	GAČR	Generování a prekoncentrace těkavých sloučenin pro atomovou absorpční a atomovou fluorescenční spektrometrii	2014	2016	ÚIACH
GA14-25558S	GAČR	Nový postup pro analýzu ve vodě rozpustných organických sloučenin v jemné frakci atmosférického aerosolu	2014	2018	ÚIACH
GA14-28254S	GAČR	Analýza signálních molekul v jediné buňce	2014	2016	ÚIACH
GA15-15479S	GAČR	Nové nástroje pro výzkum a diagnostiku nemocí. Mikrofluidické reaktory a elektrochemie pro analýzu proteinů a jejich glykosylaci	2015	2017	BFÚ AV ČR
GA16-03749S	GAČR	Superkritická voda jako nástroj nových možností v kapilárních separačních metodách	2016	2018	ÚIACH
GA16-09135S	GAČR	Nové mikroextrakční postupy pro úpravu, prekoncentraci a analýzu vzorků s komplexními maticemi	2016	2018	ÚIACH
GA17-01995S	GAČR	Analýza molekulární signalizace v jednotlivých buňkách tkáňových struktur	2017	2019	ÚIACH
GA17-04329S	GAČR	Atomizátory hydridů pro atomovou absorpční a atomovou fluorescenční spektrometrii - nové horizonty	2017	2019	ÚIACH
GA18-00062S	GAČR	Vysoce citlivá analýza glykoproteinů pomocí nových značek pro fluorescenční detekci a hmotnostní spektrometrii s elektrosprejovou ionizací	2018	2020	ÚIACH
GA18-01116S	GAČR	Pokročilé přístupy ke generování těkavých sloučenin se spektrometrickou detekcí: ultrastopové stanovení a speciální analýza Cd, Hg, As a Se	2018	2022	ÚIACH
GA18-13135S	GAČR	Využití kapilární elektroforézy při analýze suchých krevních skvrn	2018	2021	ÚIACH
GA19-00742S	GAČR	Úpravy křemenných kapilár superkritickou vodou: pokročilé techniky leptání a náročné aplikace	2019	2021	ÚIACH
GA19-12109S	GAČR	Fotokatalytická technologie pro čištění vzduchu v interiérech a exteriérech budov: celkový environmentální dopad	2019	2022	ÚFCH JH AV ČR
GA20-00726S	GAČR	Výzkum nových funkcí kaspáz pomocí jejich simultánní kvantifikace v jednotlivých buňkách	2020	2022	ÚIACH
GA20-02203S	GAČR	Analýza tkáňové odpovědi na inhalaci nanočástic kovů a mechanismus jejich čištění	2020	2022	ÚIACH
GA21-03156S	GAČR	Foton-upkonverzní značky pro mikrofluidní jednomolekulové imunostanovení proteinových biomarkerů	2021	2024	ÚIACH

GA21-05285S	GAČR	Nová generace plazmových výbojů s dielektrickou bariérou jako atomizátorů pro ultrastopovou prvkovou a speciální analýzu	2021	2023	ÚIACH
GA22-00236S	GAČR	Vývoj nových fluorescenčních značek pro elektroforetické analýzy glykoproteinů asociovaných s rakovinou prsu	2022	2024	ÚIACH
GA22-23815S	GAČR	Využití kovových nanočástic pro selektivní extrakci biologických thiolů v neinvazivních vzorcích.	2022	2024	ÚIACH
GA23-04703S	GAČR	Alternativní příprava kapilárních monolitických kolon z diskretních částic s využitím superkritické vody	2023	2025	ÚIACH
GA23-05972S	GAČR	Pokročilé techniky pro plně autonomní analýzy suchých krevních skvrn	2023	2025	ÚIACH
GA23-06530S	GAČR	Unikátní metody ultrastopové analýzy vybraných technologicky-kritických prvků	2023	2025	ÚIACH
GA24-10051S	GAČR	Vliv nanočástic kovů na plicní tkáň a buněčné procesy přispívající k jejich efluxu z těchto tkání	2024	2026	ÚIACH
GA24-11183S	GAČR	Optická mikroskopie pro přímé počítání molekul a nanočástic: absolutní kvantifikace bez kalibračních standardů	2024	2026	ÚIACH
GA25-16617S	GAČR	Komplexní charakterizace peptidických léčiv: Dva náhledy na jednu strukturu	2025	2027	ÚIACH
GC24-11335J	GAČR	Epitachofórze - koncentrování a separace iontových složek vzorku z velkých objemů	2024	2025	ÚIACH
GF23-05974K	GAČR	Všestranné plazmové zdroje a pokročilé přístupy ke zpracování signálu jako nové koncepty ve stopové prvkové analýze a atomové spektrometrii	2023	2025	ÚIACH
GJ16-09283Y	GAČR	Vývoj mikrofluidních nástrojů pro izolaci a analýzu nádorových buněk	2016	2018	ÚIACH
GJ18-03367Y	GAČR	Kódování s využitím fotonové upkonverze pro bioanalýzu v kapkové mikrofluidice	2018	2020	ÚIACH
GJ19-17604Y	GAČR	Nové analytické přístupy ke stanovení přechodných kovů založené na generování těkavých specií a atomové fluorescenční spektrometrii	2019	2022	ÚIACH
GJ20-14069Y	GAČR	Povrchem zesílená Ramanova spektroskopie: účinný nástroj pro online detekci fosforylovaných biomolekul separovaných elektromigračními metodami	2020	2022	ÚIACH
LH15174	MŠMT ČR	Pokročilá speciální analýza arsenu v obtížných biologických matricích	2016	2017	ÚIACH
TO01000232	TAČR	Rychlé a citlivé bioanalýzy pomocí miniaturizovaných elektrosprejovacích rozhraní a mikroseparací	2020	2024	ÚIACH
VB02000015	MV ČR	Přenosný kapalinový chromatograf – zvýšení technologické úrovně systému, adaptace pokročilé optické detekce a nové aplikace	2024	2026	SÚJCHBO
VI20172020069	MV ČR	Vývoj moderních instrumentálních metod pro rychlou detekci a identifikaci vybraných B-agens a toxinů	2017	2021	SÚJCHBO

Organizace konferencí

CECE

První konference CECE proběhla v roce 2004 z iniciativy Františka Foreta jako neformální setkání kolegů z Prahy, Vídně, Bratislavy a Brna. Zkratka CECE původně odrážela přednášky Bohuslava Gaše, Dušana Kanianského a Ernsta Kenndlera o kapilární elektroforéze (Central European Capillary Electrophoresis). Od té doby se zaměření setkání rozšířilo a název CECE (vyslovuje se „če, če“) již neodkazuje na žádnou konkrétní techniku. Dnes si CECE klade za cíl přivést renomované analytické vědce, aby představili nejnovější trendy ve svých oborech výzkumu.

Od roku 2012 byl do programu přidán jednodenní blok CECE Junior s ústními prezentacemi mladých vědců. Ačkoli primární cílovou skupinou jsou postgraduální studenti a mladí vědci, na učení se něčemu novému není nikdy pozdě, a proto vyzýváme všechny naše kolegy, aby se přišli na prezentace podívat. CECE a CECE Junior sdílejí posterovou sekci otevřenou všem účastníkům.

V poslední dekádě byla konference CECE pořádána ve spolupráci s našimi kolegy v řadě zemí včetně Polska, Maďarska (4x), Kambodže, Japonska a Slovenska.

Více na stránkách www.ce-ce.org.

MSB

V letech 2010 (v Praze) a 2024 (v Brně) ústav organizoval významnou mezinárodní konferenci MicroScale Bioseparations MSB – Microscale Separations and Bioanalysis, www.msb-society.org.

Konference České aerosolové společnosti

Mimo organizování konferencí CECE se ústav (osobou Pavla Mikušky) v šesti různých letech spolupodílel na organizování výročních konferencí České aerosolové společnosti.

Ze života vědkyň

Od roku 2023 se v ústavu každoročně uskutečňuje neformální a přátelské setkání „Ze života vědkyň“, které je organizováno pod záštitou mezinárodní výzvy IUPAC *global women's breakfast*. Toto setkání, organizované Annou Týčovou, je tak jedním z mnoha, která se po celém světě konají na podporu rovných příležitostí. Na setkání vystupuje zpravidla pět českých vědkyň, které ve svých příspěvcích mimo jiné odpovídají na tyto otázky:

Jaká byla Vaše kariéerní cesta? Jakému odbornému tématu se věnujete?

Dělala byste všechno podstatné ve Vašem pracovním životě stejně (i s ohledem na osobní život)?

Jak zvládáte udržovat rovnováhu mezi soukromým a pracovním životem?

Máte-li děti, jak jste prakticky zajišťovala péči o ně?

Obecným cílem akce je podpořit zvýšení empatie ve společnosti a zároveň vytvořit podpůrnou atmosféru pro ženy, které se nacházejí v komplikovaném kariéerním období. Jako mluvčí tak zde sice vystupují ženy, ale akce je určena pro všechna pohlaví.

Vzdělávání středoškoláků

Z pohledu udržitelné budoucnosti přírodovědných pracovišť, jako je ÚIACH, je zřejmé, že snaha podchytit zájem nadaných studentů vysokých i středních škol je pro budoucnost ústavu natolik důležitá, že ji ani nelze docenit.

Při vzdělávání středoškoláků ústav využívá různých platforem, které byly k tomu účelu v průběhu času postupně zavedeny. Důležitým formátem hromadného vzdělávání středoškoláků jsou exkurze skupin studentů v laboratořích ústavu s výkladem, případně s demonstračními experimenty. Tyto exkurze většinou probíhají v rámci Dne otevřených dveří, který bývá vřazen do programu Týdne vědy a techniky spolu s dalšími akcemi, jako bývají popularizační přednášky pro veřejnost.

Individuální vážní zájemci o vědeckou práci mezi středoškolskými studenty si ji mohli/mohou vyzkoušet např. v rámci různých variant projektu Otevřená věda. Tento projekt pro nadané studenty představoval/představuje možnost, jak se zapojit do práce na výzkumných projektech už v průběhu středoškolského studia.

Výzvy

Sekce chemických věd AV ČR je tvořena šesti ústavu (Ústav organické chemie a biochemie, Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského, Ústav makromolekulární chemie, Ústav chemických procesů, Ústav anorganické chemie a Ústav analytické chemie), z nichž je náš Ústav analytické chemie nejmenší (co do počtu pracovníků) a jediný sídlící mimo Prahu. Právě malá početnost našeho ústavu v sobě nese do budoucna určitá ohrožení. Jako malý ústav se snažíme o to, aby co možná největší část pracovníků byla „tvůrčí“ a přímo přispívala k tvorbě hodnocených výsledků ústavu, tedy zejména původních prací v kvalitních mezinárodních časopisech. Tato snaha má své důsledky, např. ten, že obslužné útvary, zejména technicko-hospodářská správa ústavu, jsou personálně poměrně napjaté. Ještě významnější, alespoň v případě našeho ústavu, je skutečnost, že nemáme projektové oddělení, které je dnes v podstatě standardní součástí struktury větších ústavů AV ČR, o vysokých školách ani nemluvě. V dnešní době, kdy soustavně narůstá administrativní náročnost přípravy grantových přihlášek, je absence kvalifikovaných profesionálů schopných vyhledávat vhodné poskytovatele podpory, sledovat termíny výzev a pomáhat s přípravou projektů významným handicapem. Nutnost obstarávat si tyto agendy sami zatěžuje a rozptyluje vědecké pracovníky a prohlubuje jejich frustraci z nízké úspěšnosti pracně sestavených grantových přihlášek.

Současnost ústavu

Struktura většiny vědeckých institucí nepředstavuje něco neměnného, co by přetrvávalo navždy. Ani náš ústav není výjimkou. Začínal sice rozvojem plynové chromatografie, ale ta se už v dnešní době v ústavu využívá pouze jako rutinní analytická metoda a sama o sobě není předmětem aktivního výzkumu. V době přípravy tohoto textu (duben 2026) bylo naopak ustaveno nové oddělení jednomolekulových metod, zčásti jako reflexe světového trendu. Toto nové oddělení se zaměřuje na absolutní kvantifikaci přímým počítáním a detailní fyzikálně chemickou charakterizaci molekul a nanostruktur, jako jsou nanočástice, virové částice, extracelulární vezikuly, nanoplasty, buněčné inkluze a nanorozměrné nosiče léčiv. V současné době má tak ústav šest vědeckých oddělení: oddělení bioanalytické instrumentace (BAI), oddělení elektromigračních metod (EMM), oddělení analytické chemie životního prostředí (ENV), oddělení separací v tekutých fázích (FPS), oddělení jednomolekulových metod (SiMM) a oddělení stopové prvkové analýzy (TEA). V následující části textu uvádíme vybrané ilustrativní příklady činnosti jednotlivých oddělení.

Oddělení bioanalytické instrumentace (BAI)

Vedoucí: Petr Kubáň

Oddělení bioanalytické instrumentace bylo založeno v roce 2001. Je to velmi dynamická organizační jednotka soustředící se na „cutting edge“ témata s intenzivní spoluprací s řadou inovativních firem a intenzivní vědeckou výchovou.

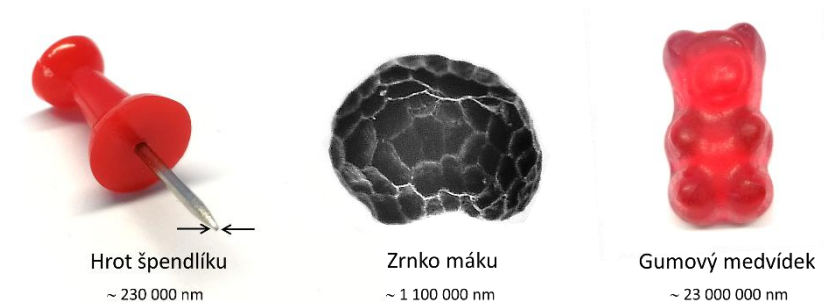
Oddělení BAI se zaměřuje na zdokonalování stávajících zařízení a metod pro analýzu biologicky významných sloučenin. Při konstrukci prototypů zařízení využívá pokročilé technologie mikroobrábění a litografické procesy, které má k dispozici přímo ve svých prostorách. V současné době se tým věnuje zejména aplikovanému výzkumu proteinového složení buněk rakoviny prsu, analýze vybraných látek obsažených ve vzorcích získaných neinvazivními metodami a studiu konformací peptidových léčiv. Hlavní oblasti odbornosti zahrnují návrh a vývoj metod elektromigrace, vývoj postupů syntézy nanočástic a jejich aplikací a výrobu mikrofluidních zařízení a souvisejícího příslušenství:

Činnost oddělení BAI v posledních letech bude charakterizována dvěma statěmi, z nichž první v obecnější rovině pojednává o využití nanočástic v analytické chemii a druhá se věnuje speciálním typům nanočástic – fluorescenčním nanočásticím, nanočásticím stříbra a zlata a foton-upkonverzním nanočásticím.

Využití nanočástic v analytické chemii

Jana Křivánková, Anna Týčová, Jan Příkryl, Antonín Hlaváček, Julia Weisová, Jana Lavická, František Foret, Petr Kubáň

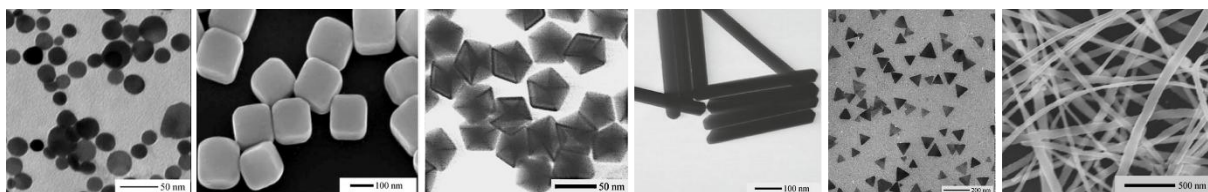
Jako nanočástici označujeme těleso, které vykazuje alespoň jeden ze svých rozměrů v rozmezí 1-100 nm. Protože měřítko, na která jsme v běžném životě zvyklí, nás svazují v představách o nanorozměrech, bude pravděpodobně názornější přiblížit si daný rozměr na jednoduchém přirovnání. Uděláme-li tužkou tečku, která nemá v průměru ani jeden milimetr, vejde se do vzniklého prostoru přibližně 7 000 000 000 nanočástic. Na Obr. 1 jsou některé známé objekty s uvedenou velikostí v nm.



Obr. 1. Rozměry několika vybraných objektů v nanometrických jednotkách.

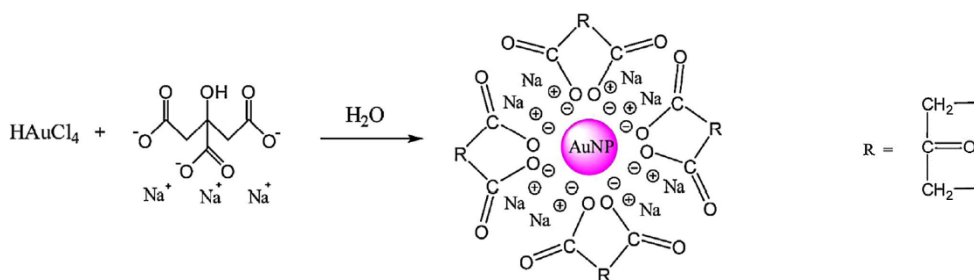
Podle předchozí definice do skupiny nanočástic spadá třeba i několikametrové vlákno s nanometrovým průměrem stejně jako nanometrová kulička. Svět nanočástic je proto nesmírně rozmanitý (Obr. 2). Rozdílné vlastnosti nanočástic nejsou ale ani zdaleka dány jen tvarem. Ještě mnohem více ovlivňuje charakter jejich chování materiál, ze kterého jsou tvořeny. Z hlediska materiálu jsou patrně nejznámější zlaté nebo stříbrné nanočástice, které se

již v minulosti používaly například pro barvení skla. Existuje ale celá řada dalších kovů ze kterých mohou být nanočástice vyrobeny, například měď, železo nebo lanthanoidy.



Obr. 2. Ukázky různých tvarů částic, které splňují definici nanočástic [DOI 10.1007/s11706-011-0100-1]

Cílená příprava nanočástic se tradičně opírá o dva rozdílné přístupy. Jeden z nich vytváří nanočástice ještě z menších komponent (atomů). Druhý se naopak zaměřuje na fragmentaci větší struktury v menší. Pro účely analytické chemie se spíše setkáváme s přístupem „bottom-up“, tedy chemické redukce kationtů kovu za vzniku nanočástic tohoto kovu. Velmi často slouží jako vstupní surovina kyselina chlorozlatitá (HAuCl_4) nebo dusičnan stříbrný (AgNO_3). Nejpopulárnější způsob syntézy zlatých nanočástic spočívá v chemické reakci, při které HAuCl_4 reaguje s citrátem sodným ve vroucí vodě (Obr. 3).



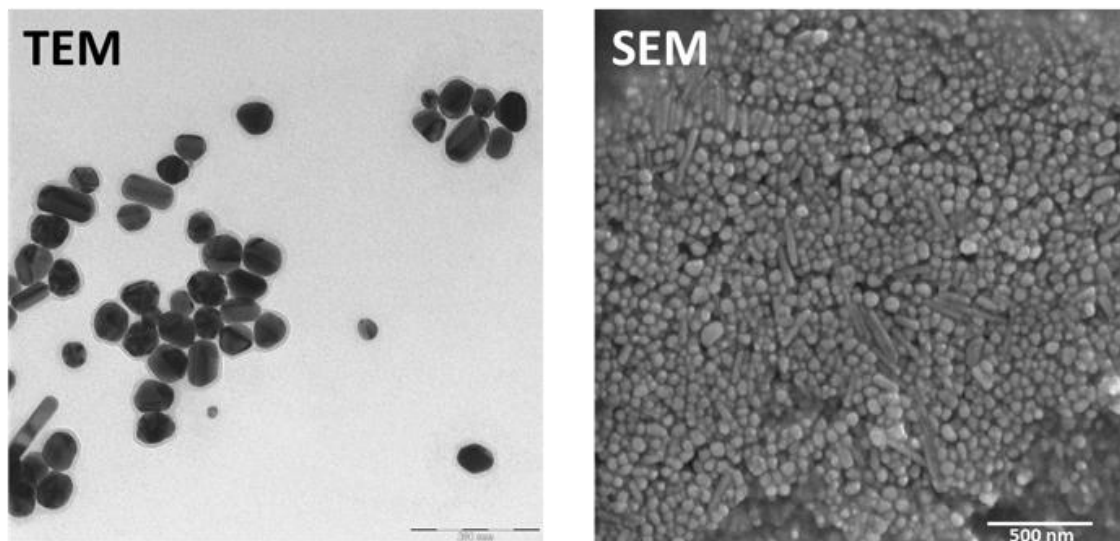
Obr. 3. Příklad syntézy zlatých nanočástic redukcí kyseliny chlorozlatité citrátem sodným.

DOI10.1002/elps.202200142]

Citrát zde působí jako redukční a stabilizační činidlo, nicméně jej lze nahradit i jinými redukčními činidly například kyselinou askorbovou nebo borohydridem sodným. Obdobně jsou syntetizovány také stříbrné nanočástice, kdy jako redukční činidla používáme stejné sloučeniny, ale přidávají se, ještě stabilizační činidla, například thiole, aminy, kyseliny nebo polymery. Nanočástice oxidů železa jsou syntetizovány precipitací, která je založena na reakci Fe^{2+} a Fe^{3+} iontů v molárním poměru 1:2 v alkalickém prostředí (amoniak, hydroxid sodný). Vysrážené nanočástice Fe_3O_4 nejsou velmi stabilní za běžných podmínek a snadno se oxidují vzduchem. Proto precipitační způsob syntézy vede ke směsi nanočástic Fe_3O_4 a Fe_2O_3 . Do reakční směsi jsou rovněž přidávány ionty citrátu, které elektrostaticky stabilizují vzniklé nanočástice v roztoku a zabraňují jejich agregaci do větších celků. Řada nanočástic je připravována za vysokých teplot, kdy jsou vstupní látky přeměňovány na materiál nanočástic. Sem patří například syntéza nanočástic z oleátů lanthanoidů, která probíhá přibližně při teplotě 300°C . Tyto nanočástice se nazývají foton-upkonverzní nanočástice. Vykazují zvláštní typ luminiscence – fotonovou upkonverzi, tzn. pokud je vystavíme neviditelnému infračervenému záření, dochází k jeho absorpci a přeměně na viditelné záření (jedná se tedy o anti-Stokesovy značky). Obrovskou výhodou je, že změnami ve složení a koncentraci jednotlivých složek při syntéze foton-upkonverzních nanočástic můžeme cíleně měnit jejich luminiscenční vlastnosti

a vytvářet si tak celé knihovny emisních spekter. Trochu do výjimečné kategorie spadá tvorba nanovláken, která se zpravidla připravují vytahováním polymerní směsi pomocí elektrického pole. Obecně platí, že pro nanočástice, které vzniknou redukcí z kationtů, není energeticky výhodné zůstat v této podobě a mají tendence vytvářet částice větší. Nejčastějším způsobem, jak zamezit vzájemnému kontaktu nanočástic (a tedy i jejich spojování) je přidavek nabitě látky, která se na nanočástice v průběhu syntézy naváže či „nalepí“. Náboj, který se na povrchu nanočástice vytváří pak odpuzuje ostatní stejně nabitě částice a systém je stabilní. Jinou možností je obalit nanočástice rozměrným polymerem, který svou strukturou znemožní, aby došlo k přímému kontaktu mezi kovovými nanočásticemi.

V oddělení bioanalytické instrumentace se studiu vlastností a využití nanočástic v analytické chemii a příbuzných oborech věnujeme už celou řadu let. Postupně jsme vyvinuli a optimalizovali syntézu různých nanočástic, které jsou v oddělení využívány k rozličným analytickým účelům, například pro citlivou detekci molekul, zakoncentrování vybraných analytů a studium interakcí a možností stanovení biomolekul. Následující příklady ilustrují některé praktické aplikace nanočástic.



Obr. 4. Příklad snímků shodných nanočástic stříbra při použití dvou různých typů elektronové mikroskopie.

Zlaté nanočástice modifikované různými funkčními ligandy lze využít v analyticko-biochemických metodách. Jednou z nejpoužívanějších metod jsou tzv. imunochromatografické techniky, založené na interakci specifických protilátek s detegovaným analytem. Imunoanalýza s laterálním průtokem (LFIA) je oblíbenou technikou pro lékařskou diagnostiku v místě péče (například těhotenský test, test CRP) a kontrolu potravin a léků pro svou jednoduchost, nízkou cenu a možnost použití doma. V neposlední řadě jsou na obdobném principu založeny i rychlé antigenní testy na COVID-19, které detekují buď virovou RNA nebo protilátky proti SARS-CoV-2. Zlaté nanočástice se také používají při analýze a předkoncentraci sloučenin obsahujících thiolové skupiny, protože jsou schopny spontánně vytvořit stabilní Au–S vazby. Biologické thiole, někdy označované jako biologické aminiolioly, jsou endogenní sloučeniny obsahující thiolovou (–SH) skupinu, která hraje významnou roli v biologických systémech. Příkladem může být glutathion, endogenní tripeptid, který se podílí na odstraňování reaktivních forem kyslíku a volných radikálů. Analýza biologických thiolů tak

nachází široké uplatnění jednak při analýze životního prostředí, ale zejména v lékařských vědách.

Stříbrné nanočástice stejně jako ty zlaté na první pohled zaujmou pozorovatele svým zbarvením. Zatímco pro zlaté nanočástice je typická vínově červená barva (dobře známá z domácích těhotenských či kovidových testů), stříbrné nanočástice mají nejčastěji zbarvení žlutohnědé. Nicméně barva obou typů nanočástic je lehce ovlivnitelná jejich tvarem a velikostí, a je tak možné připravit poměrně pestrou paletu zbarvení. V současnosti jsou nanočástice stříbra podstatně více zmiňovány v souvislosti se svými antibakteriální a antivirotickými vlastnosti. Přestože mechanismus tohoto účinku stále není plně objasněn, nejčastěji se antibiotický efekt přičítá poškození cytoplasmatické membrány stříbrnými kationty, které se ze stříbrných nanočástic pozvolna uvolňují. Popularita nanostríbra je na vzestupu především díky skutečnosti, že (až na velmi vzácné případy) si bakterie nejsou schopny vyvinout proti účinkům stříbra rezistenci, tak jak je tomu bývá u tradičních léčiv. V analytické chemii jsou nanostruktury stříbra či zlata nezbytnou součástí tzv. povrchem zesílené Ramanovy spektrometrie. Tyto kovy napomáhají velmi citlivě zaznamenat fotony nesoucí informaci o pohybech atomů uvnitř molekuly. Protože tyto pohyby definují molekulární strukturu, může nám zmiňovaná metoda pomoci odpovídat na jednu ze základních otázek analytické chemie – o jakou látku se jedná.

Nanočástice na bázi oxidů železa nebo hydroxyapatitu byly využity pro selektivní obohacení fosfopeptidů před jejich následnou analýzou pomocí hmotnostní spektrometrie. Samostatnou skupinu pak představují nanovláknové struktury, např. na bázi TiO_2 nebo ZrO_2 , které lze podobně využít pro selektivní zachycení fosfopeptidů. Ve srovnání s běžnými materiály na bázi kuliček vykazují nanovláknové materiály mnohem vyšší permeabilitu, což umožňuje jejich použití v různém formátu bez potřeby aplikace vysokého tlaku.

Velikost některých molekul, jako jsou proteiny, je s velikostí foton-upkonverzních nanočástic srovnatelná, a tak je možné je použít k jejich značkování. Díky nízkému pozadí mohou být takto označené molekuly pozorovány dokonce jednotlivě, a to i s poměrně nenáročnou instrumentací. Tímto způsobem označené molekuly se uplatňují například v imunohistochemii, která umožňuje studium mikroskopické struktury živočišných tkání a rostlinných pletiv. Imunohistochemie umožňuje v mikroskopických preparátech specificky označit vybrané molekuly a pozorovat jejich prostorové rozložení. Podobně můžeme měřit i koncentraci molekul v imunochemických detekčních metodách. V současné době se v oddělení využívá multiplexování v mikrofluidních experimentech, kdy s jeho pomocí můžeme označovat (kódovat) mikrokapkové reaktory. To umožňuje provádět velké množství například biochemických experimentů a vyhodnocovat jejich výsledky během zlomků vteřiny a například s využitím multiplexování s foton-upkonverzními nanočásticemi a automatizace na mikrofluidních čipech může být zlepšena detekce klinicky významných proteinových markerů.

Speciální typy nanočástic – jejich příprava a využití

Jana Křivánková, Anna Týčová, Julie Weisová, Petr Kubáň

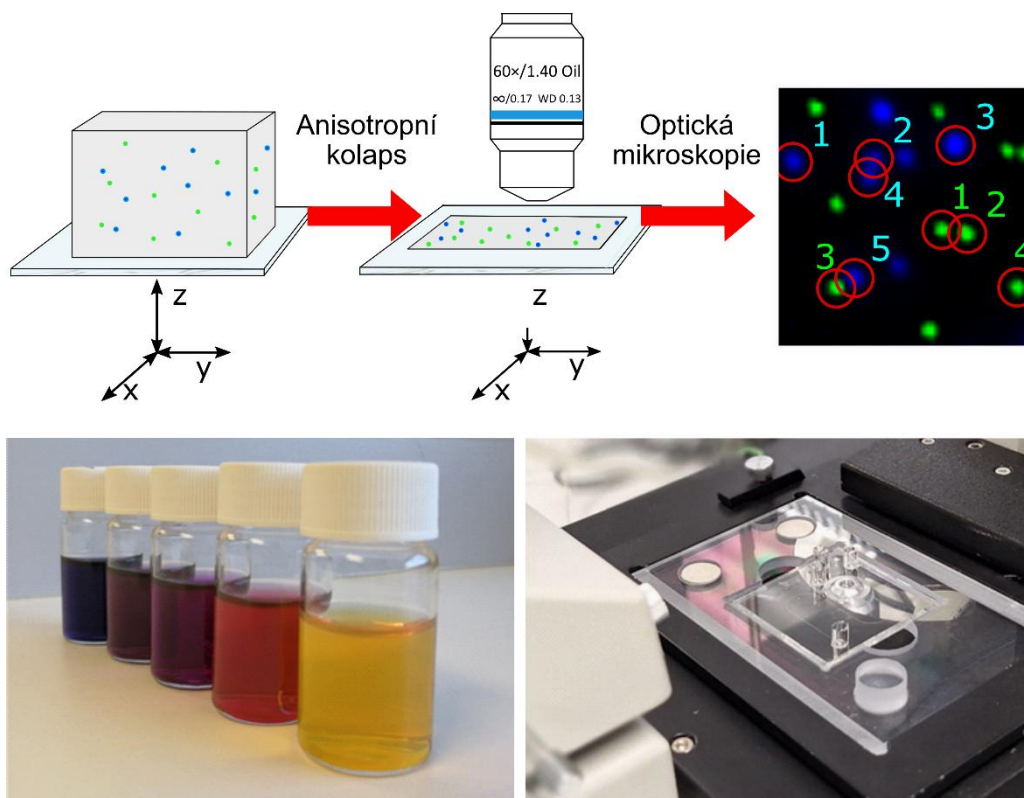
Oddělení bioanalytické instrumentace bylo založeno v roce 2001 a v roce 2006 se sloučilo s oddělením proteomiky a glykomiky. V současné době se zaměřuje na vývoj technik a metod

vhodných pro analýzu biologicky významných látek. Tradičním pilířem jsou především kapilární separace a jejich miniaturizace. V posledních letech se záběr naší činnosti rozšířil o nanotechnologie, konkrétně o přípravu a využití rozličných typů nanočástic (nanoparticles, NPs). Jedinečné vlastnosti NPs nacházejí široké uplatnění v různých oblastech analýzy, například fluorescenční nanočástice využíváme především pro citlivou detekci jednotlivých molekul, nanočástice zlata (AuNPs) a stříbra (AgNPs) hrají klíčovou roli při zesilování signálů v optických metodách a paramagnetické NPs nám umožňují účinné koncentrování analytů.

AuNPs modifikované různými funkčními ligandy našly uplatnění v biochemických a zejména imunochromatografických technikách. Tyto techniky jsou široce využívány v lékařské diagnostice (např. těhotenské testy, testy CRP) a při testování potravin a léčiv. Vyznačují se jednoduchostí, nízkou cenou a možností použití v domácím prostředí. To platí zejména pro neinvazivně získané vzorky. V posledních několika letech bylo na našem oddělení vyvinuto několik originálních postupů pro neinvazivní odběr méně obvyklých vzorků biologických tekutin, např. kondenzátu vydechovaného dechu, slin a potu^{1,2}. Největším problémem při analýze biomarkerů v těchto vzorcích jsou jejich velmi nízké koncentrace, obvykle nM nebo méně. Tyto stopové koncentrace vyžadují významné zlepšení citlivosti analytických metod, kterého lze dosáhnout například vývojem nových strategií předúpravy vzorků. AuNPs hrají klíčovou roli při analýze a při koncentraci sloučenin obsahujících thiolové (-SH) skupiny, například biologických thiolů, které spontánně vytvářejí stabilní Au-S vazby. Biologické thioly se podílejí například na regulaci metabolismu, přenosu signálů a regulaci genové exprese nebo na eliminaci reaktivních forem kyslíku a volných radikálů (glutathion). Jsou také významnými biomarkery řady onemocnění, např. Parkinsonovy a Alzheimerovy choroby, rakoviny nebo HIV. V naší skupině bylo testováno použití AuNPs pro selektivní vazbu a obohacení biologických thiolů z neinvazivních vzorků. Byly vyvinuty různé metody fyzikální separace (centrifugace, magnetické pole, záchyt na bázi extrakce tuhou fází (solid phase extraction, SPE), následovaná analýzou pomocí kapilární elektroforézy s laserem indukovanou fluorescencí³.

Zlaté a stříbrné NPs jsou v oddělení bioanalytické instrumentace také s výhodou využívány v metodě povrchem zesílené Ramanovy spektrometrie (SERS). Povrchové plasmony vytvořené po interakci s laserovým zářením na těchto NPs umožňují získat velmi citlivou odezvu jinak slabých Ramanových vibrací. Zesílení je tak enormní, že citlivost může v ojedinělých případech stoupnout až na analýzu jednotlivých molekul. SERS je tak nedestruktivním analytickým nástrojem s potenciálem pro rychlou identifikaci látek i ve značně zředěných vzorcích. Širší uplatnění této metody v praxi limitují dva zásadní faktory: (1) SERS spektra získaná z reálných vzorků jsou extrémně komplexní a rozpoznání jednotlivých komponent je prakticky nemožné; (2) pro využití efektu povrchového zesílení, které je klíčem k excelentní citlivosti metody, je potřebná těsná blízkost molekul analytu a stříbrných/zlatých NPs⁴. V našem výzkumu je využíváno moderních analytických nástrojů k tomu, aby SERS detekce probíhala za ideálních podmínek. Je navržen systém, kdy samotné detekci předchází mikrofluidická kapilární elektroforéza, která jednotlivé komponenty vzorku od sebe odděluje na základě jejich elektroforetické mobility. V místě detekce pak stříbrné (nano)částice fokusujeme akustofluidickými silami. Naše pozornost směřuje i na zvýšení potřebné interakce mezi plasmonickým nanosubstrátem a analytem⁵, a proto vyvíjíme kompozitní nanomateriály, které kombinují afinitní a plasmonické vlastnosti.

V neposlední řadě se část výzkumné práce oddělení zaměřuje na syntézu a využití foton-upkonverzních nanočástic (UCNPs) ke značení molekul, jako jsou proteiny, neboť mají podobnou velikost jako tyto NPs (Obr. 5). Unikátní optické vlastnosti UCNPs propůjčují metodám nízké detekční pozadí. Proto, podobně jako u metody SERS, mohou takto značené molekuly být pozorovány dokonce na úrovni jednotlivých molekul, a to s relativně nenáročnou instrumentací. Použití UCNPs je velmi užitečné zejména v imunohistochemii, která umožňuje studium mikroskopické struktury tkání a pletiv, kde je možné specificky označit a sledovat prostorové rozložení vybraných molekul⁶. Tento přístup se rovněž uplatňuje v imunochemických detekčních metodách, které umožňují měření koncentrace molekul.



Obr. 5. Horní obrázek znázorňuje princip absolutní kvantifikace NPs v agarosových mikrovrstvách pomocí optické mikroskopie. Vlevo dole je ilustrace disperzí AgNPs o různé velikosti. Obrázek vpravo dole ukazuje čip pro mikrofluidní elektroforézu.

Jak je možné tuto koncentraci změřit? Určování zejména molární koncentrace připravených NPs je pro analytickou chemii stále výzvou. NPs často netvoří homogenní roztoky, naopak vykazují velkou polydisperzitu, a nemají definovanou molární hmotnost. Nejen to činí jejich kvantifikaci velmi obtížnou. Klíčem k určování molární koncentrace takových vzorků je tzv. absolutní kvantifikace, neboli přímé počítání, které oproti běžným analytickým metodám eliminuje potřebu standardů nebo kalibračních křivek. Klíčovou roli zde hrají moderní technologie, jako jsou konvoluční neuronové sítě, které dokáží s vysokou přesností analyzovat mikroskopické snímky a identifikovat každou jednotlivou částici⁷. Tímto způsobem získáváme nejen informace o jejich počtu, ale i o jejich velikostní distribuci a dalších vlastnostech.

Další důležitou aplikací je využití mikrofluidních technologií, zejména kapkové mikrofluidiky, pro multiplexování experimentů, kde je možné označovat mikrokapkové reaktory a provádět velké množství biochemických experimentů v krátkém čase⁸. Kombinace UCNPs

s mikrofluidními čipy a automatizací má potenciál zlepšit detekci klinicky významných proteinových markerů.

Oddělení elektromigračních metod (EMM)

Vedoucí: Pavel Kubáň

S oddělením EMM jsou spojeny počátky elektromigračních metod v Ústavu analytické chemie. Oddělení bylo zformováno v 70. letech 20. století a společně s oddělením kapalinové chromatografie doplnilo plynovou chromatografii jako do té doby převládající část náplně činnosti ústavu. Současná aktivita oddělení je soustředěna do následujících pěti oblastí:

- Vývoj prekoncentračních a preseparačních postupů v oblasti analýz vzorků se složitými maticemi
- Metodologie pro porozumění a pochopení vlastností separačních systémů, vzorků a matic
- Vývoj metodologie s cílem dosažení maximální separační účinnosti a citlivosti
- Vývoj a aplikace mikroextrakčních technik využívajících fázová rozhraní pro analýzu vzorků se složitými maticemi
- Spojení úpravy vzorků s CE instrumentací pro přímou analýzu vzorků se složitými maticemi

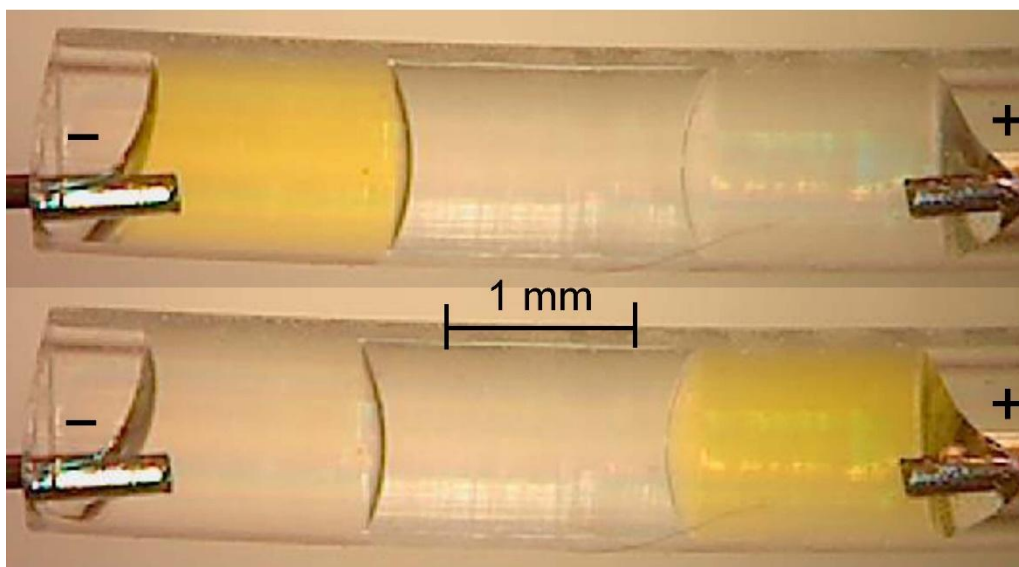
Soudobý výzkum v oddělení bude ilustrován dvěma tématy, totiž obecněji pojatou informací o problematice elektromembránové extrakce a dále textem o využití kapilární elektroforézy k analýze suchých krevních skvrn pro personalizovanou medicínu.

Elektromembránová extrakce

Pavel Kubáň

Úpravy vzorků s komplexními maticemi jsou nedílnou součástí každého analytického postupu a metody, jelikož málokterá analytická technika je schopna tolerovat přítomnost balastních maticích látek. Ty mohou mít negativní vliv na analýzy biologických, ale také potravinářských, environmentálních, průmyslových a dalších komplexních vzorků. V biologických vzorcích se běžně vyskytují vysoké koncentrace solí, proteinů, lipidů a dalších biogenních sloučenin, které, pokud nejsou odstraněny, mohou způsobovat interference při detekci cílových analytů či nenávratně poškodit analytickou instrumentaci. Podobné obtíže se objevují také pro další komplexní vzorky. Naproti tomu, cílové analyty jsou většinou přítomny ve velice nízkých koncentracích (někdy i o několik řádů nižších) a jejich stanovení není možné, či je možné pouze s nejcitlivější analytickou instrumentací. Komplexní vzorky proto musí být nejprve přečištěny a analyty zakoncentrovány. V nedávných letech byl pro úpravu komplexních vzorků navržen a využit princip elektromigrace přes selektivní fázová rozhraní, tzv. elektromembránové extrakce.

Výzkum našeho oddělení v oblasti elektromembránových extrakcí byl zaměřen na pochopení fundamentálních principů přenosu nabitých látek přes fázová rozhraní⁹⁻¹¹, vývoj instrumentace¹², a také miniaturizaci a automatizaci procesu úpravy vzorku a následné analýzy¹²⁻¹⁵. Pro zjednodušení popisu se někdy pro elektromembránovou extrakci používá termín „elektroforéza přes olejovou membránu“. Nabité částice v komplexním vzorku totiž vlivem elektrického pole migrují směrem k fázovému rozhraní, kterým je vrstva velice málo vodivé organické kapaliny (například 1-oktanolu) nemísitelné s komplexním vzorkem. Na tomto fázovém rozhraní jsou migrující ionty selektivně rozděleny na ty, které na něm budou zachyceny, a ty, které jím projdou. Na druhé straně fázového rozhraní se nachází opět nemísitelná kapalina, kterou je obvykle čistý vodný roztok (tzv. akceptor) slabé kyseliny nebo zásady přímo kompatibilní s finální analytickou technikou. Na Obr. 6 jsou pro snadnější představu zobrazeny fotografie průběhu elektromembránové extrakce potravinářského barviva v průhledné polymerní trubičce. Do vodných roztoků vzorku a akceptoru jsou umístěny Pt elektrody, na které je vloženo elektrické napětí, jehož účinkem dojde k migraci záporně nabitého tartrazinu ze vzorku (nalevo) přes fázové rozhraní (uprostřed) do akceptoru (napravo).



Obr. 6. Fotografie přenosu tartrazinu přes 1-pentanol před (nahore) a po (dole) elektromembránové extrakci. Objemy jednotlivých fází jsou 1.5 μL , napětí 100 V a doba extrakce 180 s.

Selektivita přenosu je určena mnoha parametry (složením organické membrány, polaritou elektrického pole, velikostí elektrického pole, pH vodných roztoků, přidávkem modifikátorů atd.) a je zřejmé, že je možné ji velice snadno ladit a optimalizovat. Další výhodou elektromembránových extrakcí je jejich rychlost. Jelikož je přenos cílových analytů přes fázové rozhraní urychlen působením elektrického pole, je několikanásobně rychlejší než obvyklé extrakční metody (založené na difuzi), a trvá většinou pouze několik minut. Proudové hodnoty jsou minimální a pohybují se obvykle v rozsahu jednotek až desítek μA . Princip elektromembránových extrakcí je vysoce flexibilní a umožňuje vytvořit systémy s dvoufázovými, třífázovými, ale také multifázovými rozhraními, které mohou být využity pro extrakce iontů s různými polaritami, současné extrakce aniontů a kationtů nebo k odsolení komplexních vzorků. Jednoduchou úpravou poměru objemů vzorku a akceptoru je navíc možné v jediném kroku dosáhnout nejenom účinného přečistění vzorků, ale také zakoncentrování

cílových analytů. Elektromembránové extrakce umožňují pracovat s velmi komplexními vzorky a mohou upravit i neřaděné biologické vzorky, jako například plnou krev, krevní plazmu nebo sérum.

Hlavním předmětem aplikací elektromembránových extrakcí je úprava vzorků pro klinickou analýzu – a to hlavně díky minimální spotřebě vzorků – ale elektromembránové extrakce se uplatňují také v dalších odvětvích. V brzké době lze očekávat další rozšíření této techniky mezi širší vědeckou komunitu i aplikační sféru, neboť v roce 2024 byla na trh uvedena první komerční sestava pro elektromembránové extrakce umožňující současnou úpravu až 12 vzorků.

Plně automatizovaná analýza suchých krevních skvrn pro personalizovanou medicínu

Miloš Dvořák a Pavel Kubáň

Poslední roky způsobily revoluční posun k vytváření co nejjednodušších, rychlých, laciných a selektivních technik schopných diagnostikovat akutní onemocnění a významně se změnilo i vnímání široké veřejnosti tyto přístupy akceptovat a používat. Ruku v ruce s tím se vyvíjela také technická řešení, díky nimž byla řada metod, která dlouhá léta balancovala na hraně přežití, znovuzrozena a rozšířena do dalších oblastí. Jeden takový příběh zažila i technika odběrů, zpracování a analýzy suchých krevních skvrn, které představují vhodný nástroj pro zavedení a rozvoj personalizované medicíny.

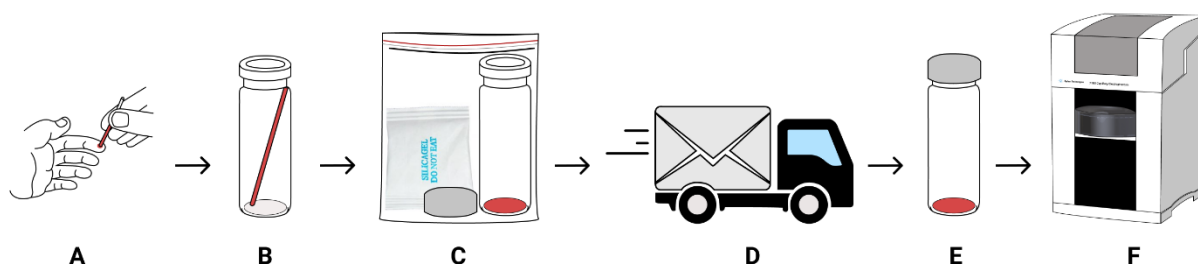
V popředí zájmu klinické diagnostiky se drží zejména analýzy krve a moči. Spolu s vnějšími symptomy poskytuje analýza tělních tekutin ucelený pohled na zdravotní stav jedince a její výsledky umožňují zacílit klinickou diagnostiku. V současné době se klasická klinická diagnostika posouvá do oblasti tzv. personalizované medicíny neboli medicíny orientované na konkrétního jedince. V ní, vedle vyhodnocení jedince na základě plošných průměrných tabulkových hodnot, charakterizujících jednotlivá onemocnění, se zohledňuje jedincova unikátnost a jeho hodnoty pro standardní (zdravý) stav. Celková diagnostika je tak mnohem přesnější a rychlejší. Po diagnostice daného onemocnění, nastupuje léčba. Ta nemusí fungovat, pokud je léčebný proces nastaven „univerzálně“ dle zavedených zvyklostí. I v této fázi se ukazuje daleko účinnější, úspornější a šetrnější pro zdravotnický systém i jedince zohlednit znalost, potřeby, fyziologické i biochemické odchylky daného jedince a nastavit tak cílenou léčbu s ohledem na jeho unikátní parametry. Sníží se tak riziko neúčinné léčby, či vedlejších zdravotních účinků.

Snahy o zvyšování pohodlí vyšetřovaného jedince a zefektivnění nákladů vynaložených na přesné cílení diagnostiky a léčby doprovází snaha o snížení frekvence vyšetření a zákroků, náhrada invazivních vyšetření méně bolestivými a multi-komponentní vyšetření, při kterém se z jednoho vzorku získá více klinických informací. Všechny tyto snahy překvapivě urychlila nedávná situace vzniklá v důsledku pandemie způsobené onemocněním COVID-19. Při ní došlo k izolaci jedinců do domácností, snížení frekvence návštěv v klinických centrech a vyloučení přímého kontaktu se zdravotnickým personálem. Současně byl také urychlen vývoj odběrových metod a diagnostických postupů, nejen tzv. nástrojů „point-of-care“ diagnostiky (určené pro použití v místě jedince), které toto umožňovaly. Velká část zodpovědnosti za odběry vzorků i jejich vyhodnocení byla přenesena na jedince samotného a toto bylo širokou veřejností akceptováno. Nejjednodušší testy jsou většinou zaměřeny na získání jediné informace pro jednu konkrétní diagnostiku. Nicméně, vzniklá situace umožnila vývoj širokého spektra

diagnostik, které mají komplexnější proces zpracování, jsou jednodušší, rychlejší, levnější a využívají alternativní biologické vzorky. Vědečtí pracovníci našeho oddělení se proto snaží řešit většinu výše psaných výzev z pohledu zefektivnění odběrů vzorků, jejich automatizovaného zpracování i automatizované analýzy.

Jak analytická chemie přispívá k současným trendům v klinické diagnostice?

Úloha analytické chemie spočívá ve vývoji a zjednodušování analytických nástrojů a postupů, které zahrnují odběr i skladování vzorků až po jeho úpravu a analýzu. Schéma zjednodušeného procesu, který je uveden na příkladu odběru a analýzy suché krevní skvrny, je zachyceno na Obr 8.



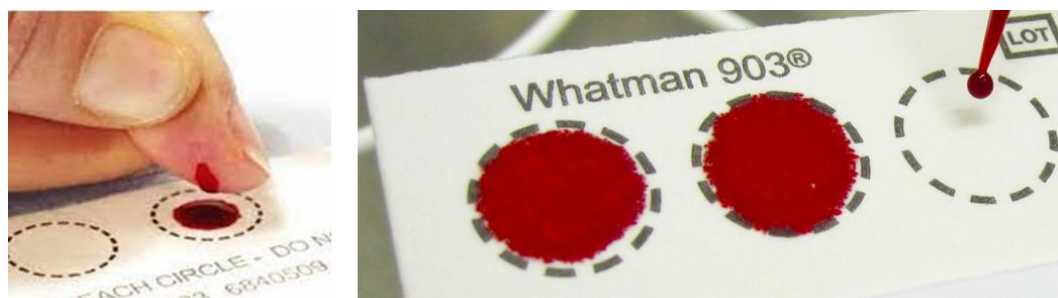
Obr. 7. A – samo-odběr krevního vzorku, B – absorpce krve savým materiálem, C – sušení krve, D – transport vzorku do laboratoře E, F – vložení do analytického přístroje. [doi.org/10.1002/anie.202012997].

I v případě odběrů a analýzy krve, je nutno navrhovat jednoduché odběrové nástroje a analytické postupy zohledňující různorodé spektrum potenciálních uživatelů. Odběrová zařízení by měla být schopna přesného a snadného odběru požadovaných objemů vzorku do uzavíratelných nádobek. Odběrová nádobka by měla být izolována od možného kontaktu s okolím, být odolná při transportu a inertní, což zabezpečí její neporušený transport k analýze. Na straně zpracování vzorku v laboratoři je výhodné, aby odběrová zařízení byla kompatibilní s následnými kroky pro úpravu vzorků a jejich analýzu.

Samotná práce s žilní krví je problematická od odběru, přes transport až po analýzu. Proto jsou na poli analytické chemie vyvíjeny postupy pro analýzu alternativních druhů biologických vzorků. Jedním z takových vzorků, jehož odběr je výrazně jednodušší a je tak v popředí aktuálního zájmu klinické analytické chemie, jsou suché krevní skvrny. Ty perfektně splňují požadavky na vyšší pohodlí jedince při odběrech, zjednodušení procesu zdravotnické diagnostiky, personalizaci medicíny a snížení nákladů na odběr biologických vzorků. Současný rozvoj analytických technik nově také umožňuje vhodné zpracování a analýzu suchých krevních skvrn.

Klasické žilní krevní vzorky jsou z pohledu klinické analytické chemie klíčovou maticí při diagnostice onemocnění, nastavování léčby, kontrole vlivu biochemických změn, odhalení genetických poruch a sledování toxikologických či farmakokinetických parametrů. Oproti bolestivým odběrům a náročnému transportu/zpracování žilní krve nabízí technika suchých krevních skvrn výrazně méně invazivní odběry mikrolitrových množství kapilární krve po provedení miniaturního vpichu do bříška prstu či paty. Odběr suchých krevních skvrn je tak téměř bezbolestný, zajišťuje nízkou míru rizika infekce, nenáročnost na zdravotnické pomůcky a zaškolení personálu. Kapka krve je absorbována savým materiálem, na kterém následně zaschne. Situaci zachycuje Obrázek 8. Takto vytvořený vzorek je nereaktivní, zdravotně

nezávadný, vhodný ke snadnému transportu (osobní doručení, odeslání běžnou poštou, balíčkem), může být skladován při pokojové teplotě a má delší životnost pro zpracování (dny až měsíce).



Obr. 8. Odběr kapilární krve a správné plnění definovaných oblastí pro suché krevní skvrny.

I přes mnohé výše popsané výhody představuje analýza suchých krevních skvrn také mnohé výzvy, které zahrnují jak vlastní analýzu (automatizace úpravy a analýzy vzorku), tak i klinickou diagnostiku (rozdílné složení kapilární a žilní krve). Tyto výzvy je proto nutno řešit samostatně pro každou skupinu stanovovaných látek i různá hlediska přístupů k automatizaci, a jejich analytická část je předmětem aktuálního výzkumu na našem oddělení, kde se intenzivně věnujeme zefektivnění samotné úpravy a analýzy suchých krevních skvrn.

Před vlastní analýzou je potřeba suchou krevní skvrnu vyrazit z odběrové karty, manipulovat s ní a zpracovat ji elučními rozpouštědly. Manuální zpracování zpravidla zahrnuje řadu kroků (plnění rozpouštědly, jejich přenos, odpaření a rekonstituci) se značným rizikem nepřesností a chyb. Vzhledem k velkým dávkovacím objemům v běžných analytických přístrojích (řádově v desítkách mikrolitrů u klasické kapalinové chromatografie) tak množství vzniklého eluátu nemusí postačovat na opakované analýzy. Také v případě poloautomatických analyzátorů suchých krevních skvrn se objevuje řada nevýhod, které jsou aktuálně v popředí vývoje. Omezením v těchto případech bývá např. průtokové uspořádání analyzátoru, které umožňuje použití krevní skvrny pouze pro jednu analýzu (pro analýzu je využit pouze střed skvrny, který je eluován proudem kapaliny) a vzhledem ke značnému zředění malého objemu krve je pro analýzy nutno využívat vysoce citlivé přístroje.

Nedávný výzkum na našem oddělení ukázal, že účinnou instrumentací pro analýzu a překvapivě i samotné zpracování suchých krevních skvrn může být kapilární elektroforéza. Ta je jako analytický nástroj běžně zavedenou separační technikou, která je ale výrazně méně využívána než chromatografické separační techniky, a její výhody jsou velmi často přehlíženy. Nicméně, právě v oblasti analýz malých množství vzorků se ukázala být výhodnější, a navíc díky svému instrumentálnímu uspořádání (vnitřnímu systému na manipulaci s kapalinami) může sloužit i k přípravě vzorků. Další výhodou je možnost analýz více analytů současně ve velice krátkém čase, které umožňují získat více analytických informací, zpřesnit kvantitativní vyhodnocení a snížit čas i náklady na analýzu více komponent vzorku najednou.

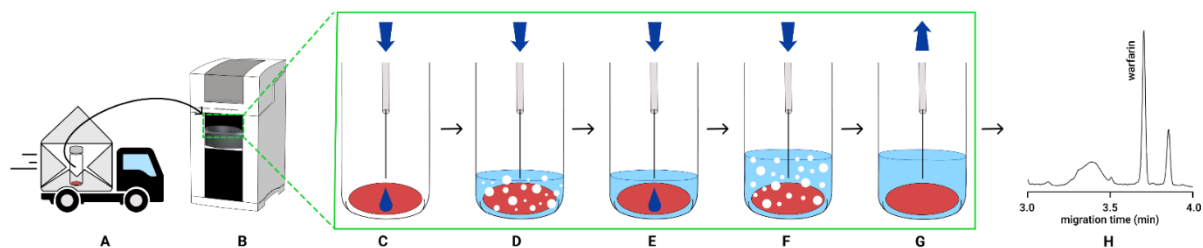
Jaké konkrétní postupy zpracování suchých krevních skvrn realizujeme v našem oddělení?

Velkou výzvou při odběru krevních skvrn a zpracování jejich sušené formy byla již od počátku přesná kvantifikace analyzovaných látek. Při běžném odběru (přiložení kapky krve k savému

materiálu) nelze určit přesný objem odebraného vzorku krve a tím pádem je následná analýza vzorku vhodná pouze pro screeningové a porovnávací testy, aniž by bylo možné stanovit přesné koncentrace analytů. Elektroforetické separační techniky umožňují stanovení více analytických faktorů během jediné analýzy a na našem oddělení jsme vypracovali jednoduchou metodu pro přesnou kvantitativní analýzu suchých krevních skvrn, která je založena na automatickém stanovení původního objemu vzorku krve i koncentrace cílových analytů. Tato metoda byla ověřena a prezentována na analýzách biomarkerů (aminokyselin), které jsou využívány pro diagnostiku dědičných onemocnění (např. fenylketonurie), poruch metabolismů zpracování potravy, sledování příjmu potravy a jejího odbourávání při různých dietách. Kapilární elektroforéza umožňuje stanovení základních anorganických iontů (např. sodíku a draslíku) souběžně s cílovými analyty (v našem případě s aminokyselinami) v rámci jediné analýzy. Zmíněné anorganické ionty mají v krvi běžné populace stabilní koncentrace a jsou tak přirozenými vnitřními standardy. Analýzou a kalibrací na anorganické ionty v krvi je možno určit jaké množství krve vytvořilo suchou krevní skvrnu a tím i stanovit přesné koncentrace aminokyselin ve skvrně. Obecně lze tento koncept použít i ke stanovení dalších endogenních biomarkerů či exogenních analytů.

Při klasickém manuálním zpracování, jsou ke krevní skvrně v odběrové nádobce přidány eluční roztoky, které jsou následně promíchány na třepačce. Značnou výhodou přístroje pro kapilární elektroforézu je jeho schopnost manipulace s kapalinami, protože všechny tyto úkony může plně automatizovaně provádět jeho vnitřní tlakový systém. Tato plně autonomní příprava a následná analýza suchých krevních skvrn pomocí kapilární elektroforézy může být využita například pro terapeutické monitorování léčiv. V něm jde, hlavně v počáteční fázi léčby, o správné nastavení terapeutické koncentrace léčiva a sledování jeho hladiny v krvi. Příliš nízké koncentrace léčiva v krvi mohou zapříčinit neúčinnou léčbu a naopak, příliš vysoké koncentrace mohou být toxické. Pacient je tak nucen v počátku léčby pravidelně a často docházet do klinických center na žilní odběry. Příkladem může být léčivo warfarin, které je určeno pro léčbu přílišné srážlivosti krve, ale obecně lze tento koncept použít pro libovolná klinicky významná léčiva a analyty.

Při terapeutickém monitorování léčiv by tedy mohlo být výhodné použít suché krevní skvrny, protože ty umožňují snadné samo-odběry kapilární krve pacientem z pohodlí domova přímo do odběrových nádobek, které lze následně zaslat poštou do laboratoře k automatizované analýze. Koncept navržený na našem oddělení využívá princip znázorněný na Obrázku 10. V rámci tohoto konceptu byla vyvinuta jednoduchá a laciná sada pro samo-odběry a přípravu suchých krevních skvrn samotným pacientem. Suchá krevní skvrna je vytvořena přímo v odběrové nádobce, kterou je vialka kompatibilní s autosamplerem komerčního přístroje pro kapilární elektroforézu. Po vložení vialky se suchou krevní skvrnou do autosampleru, do ní přístroj nadávkuje skrz tenkou kapiláru požadované množství elučních rozpouštědel, výsledný eluát promíchá, a nakonec i zanalyzuje. Veškeré úkony probíhají s využitím jediného přístroje a jediné kapiláry. Takto je možno zpracovávat desítky vzorků bez jakéhokoliv zásahu obsluhy. Díky možnosti libovolně naprogramovat jednotlivé kroky je eliminována manipulace s biologickými vzorky, manuální odměřování rozpouštědel, homogenizace eluátů a jejich přenos do přístroje k analýze. Tento koncept nabídl nový přístup ke snadnému odběru krevních vzorků, jejich automatizovanému zpracování a přesnému stanovení klinicky významných analytů, které lze provést plně autonomně pomocí moderní analytické instrumentace. Navržený koncept tak může významně snížit zátěž jak pro pacienty a zdravotnický personál tak i pro personál v klinických laboratořích.



Obr. 9. Po transportu vzorku do laboratoře (A) a vložení vzorku do přístroje (B) přeneseme přístroj ke krevní skvrně definovaný objem prvního rozpouštědla a promíchá ho (C a D), přeneseme definovaný objem druhého rozpouštědla a opět ho promíchá (E a F), a poté nadávkuje (G) a zanalyzuje (H) výsledný eluát. [doi.org/10.1002/anie.202012997].

V moderní klinické medicíně by měla být upřednostňována preventivní diagnostika před léčbou následků onemocnění. Ve většině případů tomu tak není a léčba začíná až po rozvinutí nemoci a objevení se chronických příznaků. Některé z důvodů, které zabraňují většímu rozšíření preventivní diagnostiky, jsou vysoké ceny analýz, vysoké náklady na odběr krevních vzorků a neochota populace podstupovat preventivní odběry žilní krve. Technika samo-odběrů kapilární krve eliminuje řadu těchto nedostatků a ve spojení s automatizovanou úpravou a analýzou suchých krevních skvrn vyvinutých na našem oddělení by bylo umožněno provádět plošné testování celé populace s relativně jednoduchou dostupností vzorků i provedením až několik set analýz za den pomocí jediného analytického přístroje. Bylo by tak možné, snadno a lacině, získat i analyzovat značné množství vzorků během krátké doby a tím u mnoha jedinců závčas odhalit predispozice či rané stádium nemoci. Jako příklad může být uvedena kyselina močová (způsobující nemoc dna), jejíž zvýšené koncentrace v krvi se projevují bolestivostí kloubů. Jde o onemocnění, které není standardně diagnostikováno v rámci běžné preventivní péče (na rozdíl od hladiny cukru a cholesterolu), takže léčba tohoto onemocnění většinou začíná až po rozvinutí nemoci a zaznamenání jejich chronických projevů. Dalším příkladem může být kreatinin, jehož vyšší koncentrace v krvi poukazuje na zhoršenou funkčnost ledvin, ale je stanovován pouze na doporučení ošetřujícího lékaře. Stejným způsobem může být po optimalizaci experimentálních podmínek tento koncept využít ke stanovení mnoha biomarkerů, pro preventivní diagnostiku dalších závažných onemocnění.

Naše oddělení tak originálními přístupy a technickými řešeními nabízí nová využití stávající analytické instrumentace, která zohledňuje současné trendy v klinické diagnostice. Samozřejmě stále existuje řada výzev a problémů, které je nutno řešit s ohledem na aktuální požadavky, a náš budoucí výzkum je proto zaměřen na další zdokonalení představeného konceptu. Ty reflektují i aktuální všeobecné trendy, kdy po jednoduchém odběru, úpravě a analýze vzorku následuje zpracování analytické informace lékařem a léčba pacienta na dálku (tzv. telemedicína použitím chytrého telefonu, e-mailu, e-receptu). Celý koncept tak nejenom snižuje na minimum vliv lidského faktoru na analýzu krve, ale současně eliminuje nutnost pacientů docházet k pravidelným odběrům a konzultacím. Širší využití tohoto konceptu je však podmíněno změnou přístupu celé společnosti, a hlavně její ochotou k samo-odběrům biologických vzorků a telemedicině. Tato ochota byla poprvé výrazně zaznamenána během nedávné pandemie a je proto důležitým příslibem pro budoucnost personalizované medicíny. Že to je možné ukázal příklad, jak se metoda vyvinutá v 60. letech minulého století pro screeningovou diagnostiku fenylketonurie, založená na technice suchých krevních skvrn, rozrostla, a jak si v posledních letech vydobyla opětovnou pozornost. Toho bylo dosaženo

rozvojem metod pro úpravu vzorků a analytických instrumentací a také nedávným akceptováním alternativních biologických vzorků laickou i odbornou veřejností.

Oddělení analytické chemie životního prostředí (ENV)

Vedoucí: Pavel Mikuška

Oddělení analytické chemie životního prostředí, vzniklé v roce 1990, se soustředí na metodologii a vývoj metod zaměřených na předkoncentrační, separační a detekční techniky pro stopovou a ultrastopovou analýzu sloučenin a prvků v životním prostředí, biologických a pokročilých materiálech. Aktuální výzkumná témata jsou:

- Vývoj instrumentace a detekčních metod pro stopovou a ultrastopovou analýzu
- Analýza plyných a těkavých sloučenin, aerosolů a nanočástic ve vzduchu
- Chemické složení, vliv na zdraví a zdroje atmosférických aerosolů
- Toxicita a vliv nanočástic na zdraví

Výzkumná činnost tohoto oddělení bude charakterizována dvěma statěmi. První z nich je obecnější text o atmosférických aerosolech a jejich analýze s krátkým časovým rozlišením. Druhá stať pojednává o akumulaci nanočástic a kovů v orgánech experimentálních zvířat.

Na rozdíl od nanočástic diskutovaných v popisu činnosti oddělení BAI se zde jedná především o uměle generované nanočástice oxidů kovů, zejména CdO, PbO, Mn₃O₄, ZnO, CuO a TiO₂.

Analýza atmosférických aerosolů s krátkým časovým rozlišením

Pavel Mikuška, Lukáš Alexa

Atmosférický aerosol (zkratka z anglického „aero-solution“) je heterogenní směs malých pevných nebo kapalných částic rozptýlených ve vzduchu a jejich velikost se pohybuje v rozmezí 1 nm až 100 μm. Spolu s ozonem a oxidem dusičitým jsou v současné době nejdůležitějšími látkami znečišťujícími ovzduší v Evropě. Aerosolové částice zhoršují kvalitu ovzduší, významně ovlivňují globální klima, snižují viditelnost, účastní se produkce smogu a mají zásadní dopad na další složky životního prostředí. Znamé jsou také jejich nepříznivé účinky na zdraví lidí a zvířat, kdy při vysokých koncentracích mohou způsobit sníženou funkci plic, vznik astmatu, alergií, respiračních, kardiovaskulárních a dalších chorob, což v konečném důsledku může vést ke zvýšené úmrtnosti.

Částice aerosolů jsou složeny ze složité směsi mnoha chemických sloučenin. Hlavními složkami aerosolů jsou obecně anorganické soli a minerální prach, včetně stopových prvků, a organické sloučeniny a saze. Analýza chemického složení aerosolů pro identifikaci aerosolových komponent relevantních pro možné důsledky na lidské zdraví nebo environmentální problémy je nezbytným předpokladem pro zlepšení porozumění dopadů aerosolů na zdraví a identifikaci emisních zdrojů aerosolů a jejich složek. Při analýze chemického složení dnes stále převažují metody využívající tradiční vzorkování aerosolů, kdy je vzduch prosáván přes vhodný typ filtru, kde se částice aerosolu kvantitativně zachytí. Po skončení odběru je filtr transportován do laboratoře, kde je zpracován (např. extrakce filtrů organickými rozpouštědly nebo vodou,

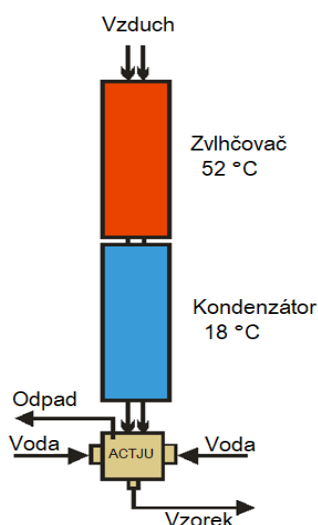
rozklad filtrů v kyselině, zakoncentrování extraktu atd.) a výsledný extrakt je pak analyzován na obsah studovaných sloučenin využitím vhodné analytické metody (např. GC-MS nebo LC-MS při analýze organických sloučenin, IC při analýze iontů anebo ICP-MS při analýze prvků). Tento manuální vícestupňový postup (tj. vzorkování, předkoncentrace a analýza) však umožňuje pouze off-line analýzu, která má za následek nízké časové rozlišení měření (několik hodin až den), a časově integrované výsledky jsou k dispozici se zpožděním mnoha dnů. Složení aerosolů se však mění v mnohem kratších časových intervalech v závislosti na místních zdrojích znečištění a meteorologických podmínkách. K identifikaci zdrojů aerosolů a sloučenin vázaných na částice aerosolů, které jsou zodpovědné za negativní dopady na lidské zdraví nebo environmentální problémy, je proto nezbytné měřit složení aerosolů ve vyšším časovém rozlišení. K detekci rychlých změn ve složení aerosolu se tak nabízí využití kontinuálních technik odběru vzorků, které lze on-line spojit s metodou detekce v reálném čase, umožňující rychlou a přímou analýzu.

Oddělení analytické chemie životního prostředí vyvinulo pro tento účel vzorkovač aerosolů, který umožňuje jejich kontinuální vzorkování do vody s následnou on-line analýzou sloučenin v zachycených aerosolech (Obr. 10). Kontinuální vzorkovač (Aerosol Counterflow Two-Jets Unit, ACTJU) využívá pro záchyt aerosolů dvě Venturiho trysky umístěné naproti sobě, kde dávkovaná deionizovaná voda je zmlžována proudem analyzovaného vzduchu za vzniku velmi malých kapiček, které se srážejí s částicemi aerosolů a dochází tak k jejich záchytu. Ve spřaženém cyklónu se následně oddělí kapičky vody se zachycenými aerosoly od vzduchu a vzniklý vodný koncentrát je možné ihned on-line analyzovat.

Pro zajištění kvantitativního záchytu nanočástic a ultrajemných částic aerosolu (od velikosti několika nanometrů) je před vzorkovačem předřazena tzv. kondenzačně-růstová jednotka (Condensation-Growth Unit, CGU)¹⁶. CGU se skládá ze dvou nerezových segmentů zapojených v sérii (Obr. 11). První segment (tzv. zvlhčovač) je elektricky vyhříván na vnitřní teplotu 52° C a druhý segment (tzv. kondenzátor) je termoelektricky chlazen na 18° C. Vnitřní prostor prvního segmentu obsahuje dvě souběžně umístěné porézní teflonové trubice, které jsou obklopené vodou, která ve formě vodní páry prochází přes póry stěny do vnitřního prostoru trubice. Druhý segment je tvořen nerezovým segmentem se dvěma podélně vyvrtanými otvory.



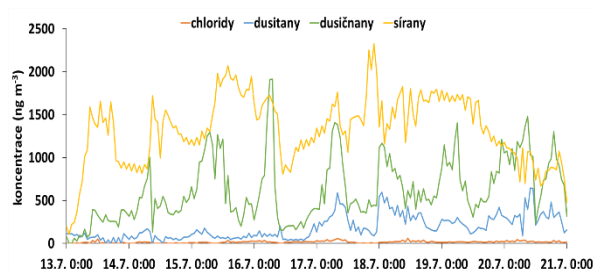
Obr. 10. Kontinuální vzorkovač.



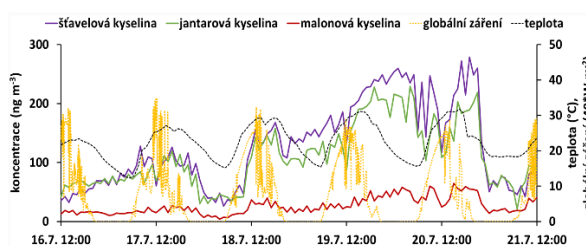
Obr. 11. CGU-ACTJU vzorkovač, schéma + skutečnost.

Analyzovaný vzduch prochází nejprve přes zvlhčovač, kde je nasycen zahřátou vodní párou a následně je při procházení přes kondenzátor prudce zchlazen. Ostrý pokles teploty vede k supersaturaci vodní páry, která aktivuje kondenzační růst malých částic aerosolu (počáteční velikost několik nanometrů) na větší kapičky v rozmezí až několik mikrometrů, které jsou pak zachyceny v ACTJU do deionizované vody. Při průtoku 10 L/min analyzovaného vzduchu a 1 ml/min deionizované vody přes vzorkovač získáme 10 000-násobné zakoncentrování aerosolů (a vázaných sloučenin) ve vodě.

V současné době vyvinuté metody umožňují na místě analyzovat v aerosolu anorganické anionty¹⁶ (tj. fluoridy, chloridy, dusitany, dusičnany, sírany a fosforečnany; Obr. 12) a dikarboxylové kyseliny¹⁷ (Obr. 13) pomocí on-line připojené iontové chromatografie s časovým rozlišením 15-60 min.



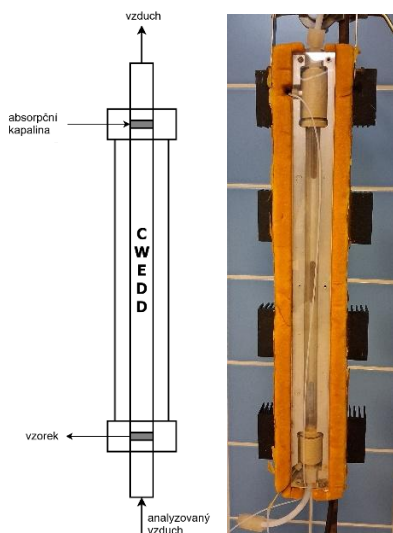
Obr. 12. Analýza anorganických aniontů.



Obr. 13. Analýza dikarboxylových kyselin.

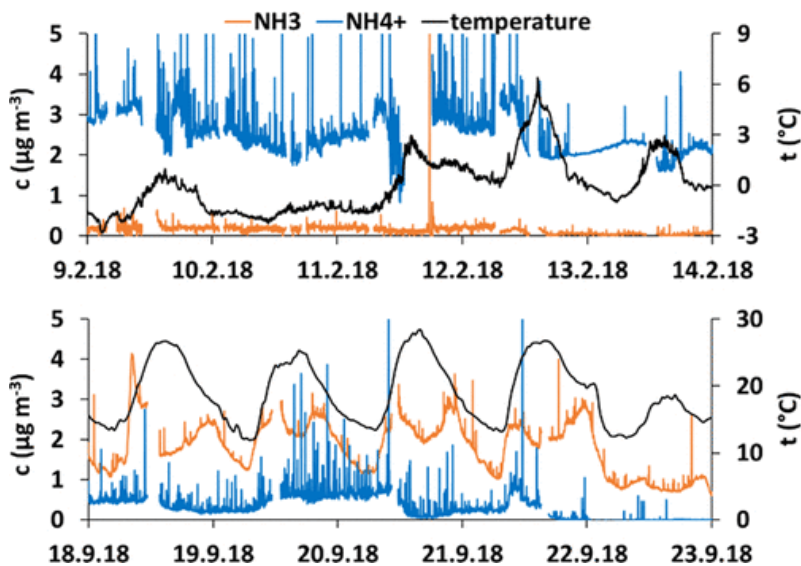
Pokud pro analýzu zachycených aerosolů použijeme rychlou metodu s citlivou detekcí, můžeme v koncentrátu ze vzorkovače stanovovat sloučeniny s menším časovým rozlišením. Příkladem je analýza NH_4^+ , který je stanoven fluorescenční detekcí¹⁸. Pokud současně kontinuálně analyzujeme i odpovídající sloučeninu v plynné fázi, tj. NH_3 , můžeme snadno a rychle měřit distribuci NH_3 a NH_4^+ mezi plynnou a aerosolovou fází. V případě současné analýzy obou sloučenin jsou pak aerosoly obsahující NH_4^+ zachyceny pomocí CGU-ACTJU vzorkovače, zatímco NH_3 je kontinuálně zachytáván do deionizované vody pomocí difúzního denuderu se stékajícím filmem kapaliny (Cylindrical Wet Effluent Difusion Denuder, CWEDD, Obr. 14). Pro detekci NH_4^+ v koncentrátu z CGU-ACTJU i CWEDD jsou použity dva shodné kontinuální analyzátoři s fluorescenční detekcí poskytující analýzu NH_4^+ s časovým rozlišením 1 s¹⁸.

Amonné kationty nacházející se v aerosolu ve formě solí, např. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 , NH_4Cl atd., jsou ve vzduchu v dynamické rovnováze s plynným NH_3 . Rovnováha v systému $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ je ve vzduchu silně závislá na okolní teplotě, kdy s rostoucí teplotou dochází k poklesu koncentrace NH_4^+ , což je především důsledkem konverze nestabilního NH_4NO_3 a NH_4Cl na NH_3 a HNO_3 nebo HCl . Změny v distribuci v systému $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ v závislosti na teplotě jsou ilustrovány na výsledcích paralelního měření NH_3 a NH_4^+ v zimní a letní kampani při odlišných venkovních teplotách vzduchu (Obr. 15). S rostoucí teplotou během dne koncentrace NH_3 roste a s klesající teplotou během noci klesá v důsledku teplotní závislosti atmosférické rovnováhy mezi plynným NH_3 a těkavým NH_4NO_3 a NH_4Cl v aerosolu.



Obr. 14. CWEDD vzorkovač, schéma + skutečnost.

V letním období při vyšších teplotách ve vzduchu převažuje NH_3 , který tvořil v průměru 83,9 % celkového množství $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ve vzduchu. V zimní kampani při nízkých teplotách byla rovnováha v systému $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ posunuta naopak na stranu NH_4^+ v aerosolu, kdy NH_3 tvořil v průměru pouze 4,6 % celkového množství $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ve vzduchu¹⁸.

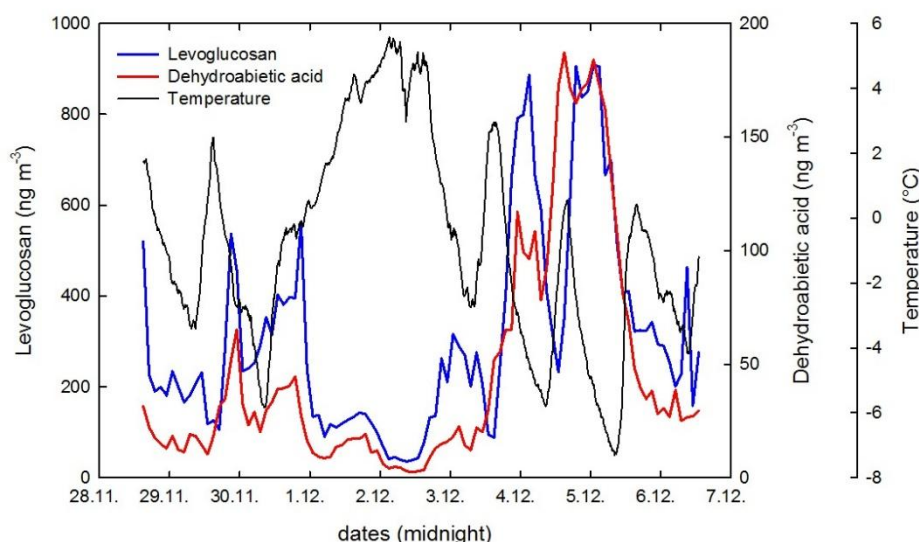


Obr. 15. Analýza amoniaku v plynné fázi a aerosolu.

Podobně lze s použitím chemiluminiscenční detekce měřit rychle i distribuci v systému HNO_3 v plynné fázi a NO_3^- v aerosolu. Měření rychlých změn v koncentracích NH_4^+ a NO_3^- nachází využití při sledování rovnovážných distribucí $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ a $\text{HNO}_3/\text{NO}_3^-$, kdy tyto sloučeniny hrají významnou roli při tvorbě nových částic v atmosféře.

V mnoha případech však není k dispozici vhodná on-line metoda, která by přímo na místě vzorkování umožnila rychlé, citlivé a dostatečně selektivní stanovení analyzovaných sloučenin. V takových případech jsou sloučeniny zachycené do vody vzorkovány do vialek pomocí autosampleru a zpracovány off-line v laboratoři. Příkladem off-line analýzy sloučenin zachycených kontinuálně v CGU-ACTJU do vody je stanovení levoglukosanu (LVG) a kyseliny dehydroabietové (DAA) v PM2.5 aerosolu¹⁹ (Obr. 16). Výsledky analýzy LVG a DCA emitovaných do vzduchu při spalování dřeva v domácnostech ilustrují denní trend ve vytápění domácností v zimní sezóně (tj. nárůst koncentrace odpoledne a večer, naopak pozdě v noci a dopoledne koncentrace většinou klesají) a negativní korelaci koncentrací obou sloučenin s venkovní teplotou (tj. s rostoucí teplota pokles vytápění a emise klesají, při poklesu teploty se naopak začíná více topit a emise rostou).

Výhodou kombinace kontinuálního vzorkování aerosolů do vody a on-line detekce studovaných analytů přímo v místě odběru vzorku (případně i off-line v laboratoři) je identifikace rychlých změn v koncentraci jednotlivých komponent. Vzorkování aerosolů do vody současně eliminuje vzorkovací chyby známé ze vzorkování na filtry.



Obr. 16. Analýza LVG a DAA v zimním období.

Akumulace nanočástic kovů v orgánech experimentálních zvířat

Lukáš Alexa, Zbyněk Večeřa, Pavel Mikuška

Negativní účinky aerosolů na zdraví závisí nejen na koncentraci a chemickém složení, ale především na velikosti částic aerosolu. Průměr částice určuje dobu jejího setrvání ve vzduchu a je rozhodujícím faktorem pro vstup do organismu a místo depozice v dýchacím systému. Čím jsou částice menší, tím hlouběji pronikají do dýchacího systému, kde může dojít k jejich lokální depozici. Částice menší než 10 μm (PM10) pronikají při dýchání do dolních dýchacích cest, zatímco částice menší než 2,5 μm (PM2.5) pronikají dále do průdušek a submikrometrové částice (< 1 μm , PM1) až do plicních sklípků. Potenciálně nejnebezpečnějšími pro lidské zdraví jsou ultrajemné částice (< 100 nm, ultrafine particles, UFPs), které penetrují hluboko do plicních sklípků. V posledních desetiletích se v souvislosti s rozvojem nanotechnologií začal pro částice menší než 100 nm používat alternativní název nanočástice (nanoparticles; NPs), které jsou definované jako částice, které mají všechny vnější rozměry rovné nebo menší než 100 nm.

Potenciální nebezpečí NPs a UFPs pro lidské zdraví, na rozdíl od větších částic, souvisí zejména s možností jejich snadného průniku přes stěnu plicních sklípků (tzv. plicní epitel) do krevního systému, kdy pak krev transportuje tyto částice do dalších orgánů. Po translokaci do krevního oběhu vyvolávají NPs a UFPs zánětlivé procesy, které mohou být následně provázeny kardiovaskulárními, neurodegenerativními, karcinogenními a dalšími zdravotními problémy.

UFPs a NPs mají stejnou velikost, jejich fyzikálně-chemické vlastnosti, včetně chování a toxicity, se běžně překrývají, ale liší se svými zdroji. Termín UFPs se většinou používá pro částice normálně se vyskytující ve vzduchu jako přirozená součást aerosolů, které vznikají běžnými přírodními procesy jako jsou lesní požáry, sopečná činnost atd. Občas se mezi UFPs řadí i polydispersní částice menší než 100 nm s komplikovaným chemickým složením, neúmyslně produkované jako vedlejší produkty lidské činnosti, např. automobilovou dopravou, v průmyslu, spalováním dřeva a uhlí v rámci vytápění domácností atd. (tzv. antropogenní NPs). Termín NPs zahrnuje jak antropogenní NPs, tak především záměrně vyrobené, většinou monodispersní částice s přesně definovanými chemickými a fyzikálními vlastnostmi určenými pro cílenou aplikaci (tzv. „engineered“ NPs, eNPs)²⁰.

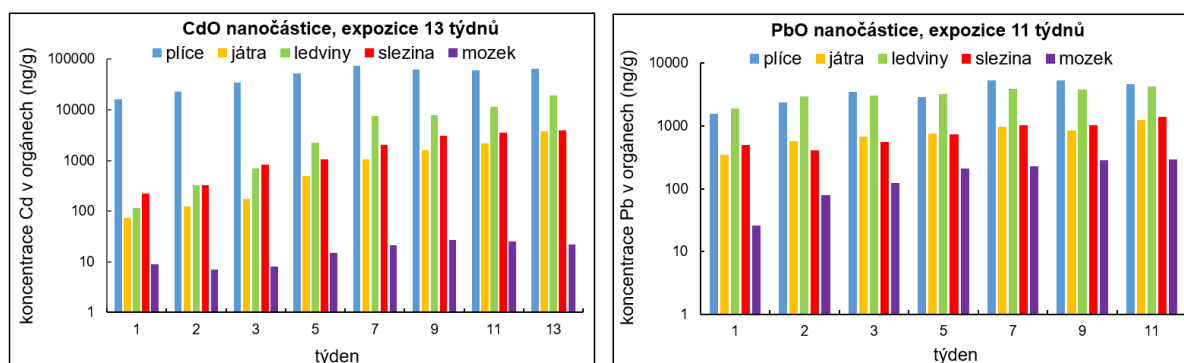
Tyto eNPs se speciálním složením a vlastnostmi nachází v posledních desetiletích rostoucí uplatnění v mnoha oblastech jako je elektronika, produkce energie, biotechnologické procesy, ale i v medicíně, farmacii, potravinových doplncích, kosmetice, atd. Paralelně s rostoucí výrobou a rozšiřujícími se aplikacemi eNPs vzrůstá i počet vědeckých studií zabývajících se detailní charakterizací jejich vlastností a toxicity v souvislosti s jejich potenciálními negativními dopady nejen na lidské zdraví, ale i na životní prostředí. V současné době přesto máme stále jen velmi málo informací o základních mechanismech zodpovědných za toxické působení eNPs na živé organismy, včetně člověka. Mezi vědeckými studii zabývajících se studiem vlivu eNPs na lidské zdraví stále převažují i v současné době *in vitro* testy, kdy je sledován vliv eNPs na lidské nebo zvířecí buňky v kontrolovaných laboratorních podmínkách. Hlavní nevýhodou *in vitro* experimentů prováděných mimo živé organismy je to, že nejsou schopny poskytnout komplexní informaci o interakci mezi buňkami a biochemických procesech, ke kterým dochází během metabolismu. V *in vivo* experimentech je naopak vliv eNPs testován přímo na živých organismech (nejčastěji na laboratorních zvířatech), kdy reálné expoziční trasy umožňují přesnější vyhodnocení celkového vlivu eNPs (včetně jejich toxicity) na živý organismus.

K nejčastějším představitelům NPs, se kterými se běžně setkáváme, patří eNPs kovů. Vliv eNPs kovů, jako jsou např. železo, stříbro, titan atd., na zdraví lidí je v současné době předmětem intenzivního studia, na rozdíl od eNPs toxických kovů, jako je kadmium a olovo, které jsou na okraji zájmu vědecké komunity. Oddělení analytické chemie životního prostředí se v posledním desetiletí zabývá výzkumem vlivu eNPs na zdraví lidí prostřednictvím inhalačních *in-vivo* experimentů s laboratorními zvířaty, které umožňují napodobení podmínek reálné expozice lidské populace nanočásticemi ve volném ovzduší. Jako modelová zvířata jsou používány samice myši, které inhalují eNPs obsahující oxidy jak toxických kovů (Cd²¹ a Pb²²), tak i relativně netoxických a zároveň široce používaných kovů jako jsou Mn, Zn, Cu, a Ti. Inhalační experimenty probíhají ve speciální inhalační laboratoři obsahující 4 inhalační komory (Obr. 17), v nichž jsou myši vystaveny cílenému působení eNPs za podmínek fyziologické expozice podobné reálným podmínkám v znečištěném vzduchu. Uvnitř každé inhalační komory jsou čtyři menší plastové boxy, ve kterých se nachází myši. Tyto komory jsou z bezpečnostních důvodů odděleny od zbytku laboratoře ochrannou konstrukcí zhotovenou ze skla a nerezového materiálu a celý systém umožňuje provádět dlouhodobé inhalační pokusy s eNPs.

Při inhalačních experimentech samice myši inhalovaly eNPs kontinuálně po dobu 6, 11 nebo 13 týdnů (24 hodin denně, 7 dní v týdnu). Ve vybraných časových intervalech byly myši postupně odebírány, humánně usmrceny a vybrané orgány byly analyzovány na obsah kovů z inhalovaných eNPs. Pro studium akumulace eNPs a kovů v těle laboratorních myší bylo vybráno 5 orgánů (tj. plíce, játra, ledviny, slezina a mozek), které mají důležitou funkci jak v těle lidí, tak zvířat.



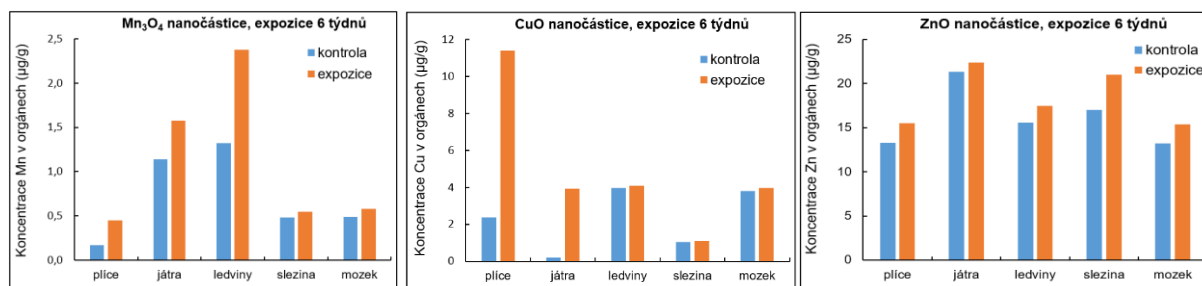
Obr. 17. Inhalační komory s ochrannou konstrukcí.



Obr. 18. Akumulace Cd a Pb ve vybraných orgánech myší při dlouhodobé expozici CdO a PbO eNPs.

Časový průběh nárůstu koncentrace Cd²¹ a Pb²² v plicích jako vstupním orgánu a v dalších orgánech během dlouhodobé expozice myší eNPs CdO (13 týdnů) a PbO (11 týdnů) je znázorněn na Obr. 18. Získané výsledky nám poskytly detailní informace o depozici a

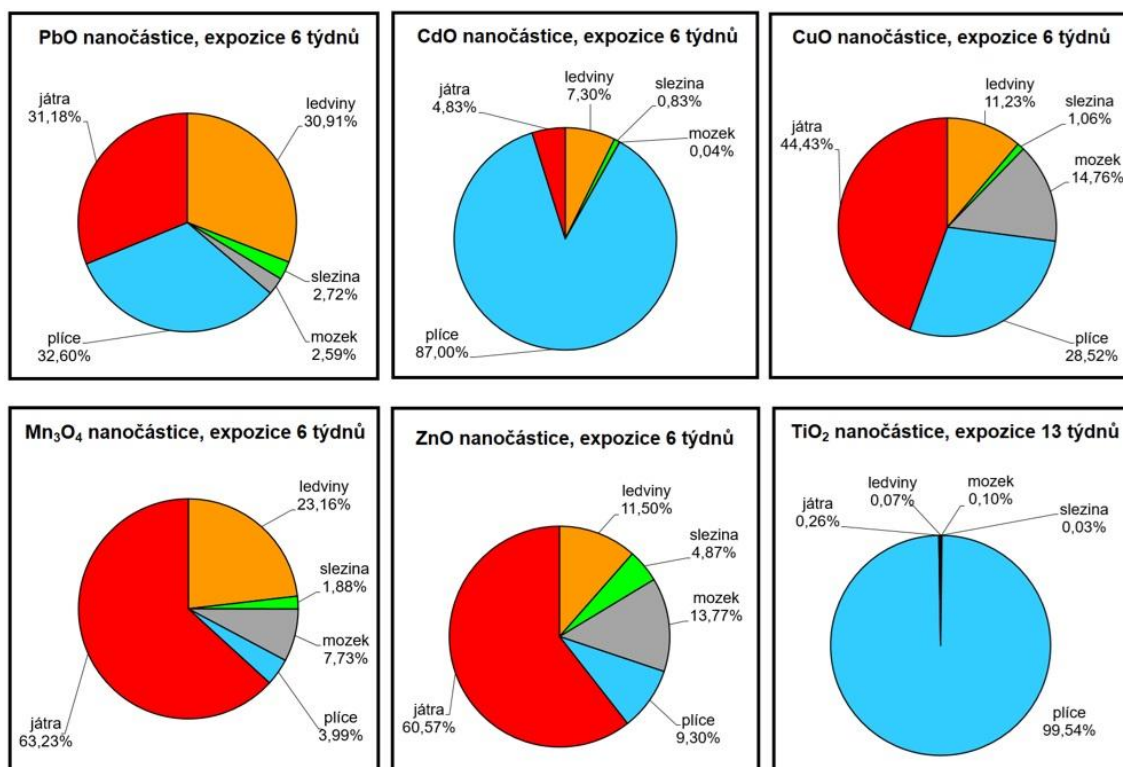
translokaci studovaných eNPs z plic do tkání a orgánů exponovaných zvířat. Postupná akumulace obou kovů byla potvrzena ve všech studovaných orgánech exponovaných myší. Inhalace vedla primárně k akumulaci eNPs v plicích jako vstupním orgánu. Část eNPs CdO a PbO deponovaných na povrchu plicního epitelu se postupně rozpouštěla v plicním surfaktantu za vzniku ionizovaných forem Cd a Pb, které byly po přechodu do krevního oběhu společně s nerozpuštěnými eNPs transportovány krví z plic do dalších orgánů, kde docházelo k sekundární akumulaci. Zbytek deponovaných eNPs byl z plicních sklípků odstraněn působením alveolárních makrofágů. Následně byly inhalační experimenty provedeny i s eNPs Mn₃O₄, ZnO, CuO a TiO₂. Cd a Pb jsou pro živé organismy toxické, oba kovy jsou považovány za potenciální karcinogeny a v orgánech se běžně nevyskytují, zatímco stopové esenciální prvky Mn, Cu a Zn jsou důležitou součástí mnoha různých enzymů a bílkovin, a podílí se tak na průběhu životně důležitých metabolických procesů v živých organismech. Koncentrace Mn, Cu a Zn v orgánech myší exponovaných po dobu 6 týdnů Mn₃O₄, CuO a ZnO eNPs jsou porovnány na Obr. 19 s koncentracemi v orgánech kontrolních myší, které celou dobu dýchaly čistý vzduch bez eNPs.



Obr. 19. Koncentrace Mn, Cu a Zn v orgánech kontrolních a exponovaných myší na konci 6. týdne expozice eNPs.

Je zřejmé, že 6 týdenní inhalace eNPs oxidů toxického Cd i Pb vedly k významnému nárůstu koncentrace ve všech studovaných orgánech exponovaných myší, zatímco inhalace eNPs oxidů Mn, Cu a Zn vedla jen k nepatrnému nárůstu koncentrace příslušného kovu v orgánech exponovaných myší (s výjimkou Cu v plicích a játrech) v porovnání s koncentracemi těchto kovů v orgánech kontrolních myší, zatímco koncentrace Ti ve všech orgánech exponovaných myší s výjimkou plic byla po 6 týdnech expozice TiO₂ eNPs pod limitem detekce. Rozdíly v distribuci kovů akumulovaných ve vybraných orgánech exponovaných myší na konci 6týdenní inhalace eNPs CdO, PbO, Mn₃O₄, ZnO a CuO (Obr. 20), jsou pravděpodobně způsobeny kombinací odlišné rozpustnosti oxidů kovů v plicním surfaktantu a rozdílné afinity zkoumaných eNPs oxidů kovů ke studovaným orgánům (vazba na aminokyseliny atd.).

Kromě obsahu kovů byly orgány exponovaných a kontrolních myší podrobeny i mnoha dalším analýzám z oblasti biochemie, toxikologie, histologie, imunologie atd. Tyto analýzy, prováděné ve spolupráci s dalšími ústavu AV ČR a univerzitami jak v ČR, tak i v zahraničí, zjistily závažné změny na buněčné i tkáňové úrovni ve všech orgánech po inhalaci všech studovaných eNPs. Účinky eNPs byly závislé na typu orgánu a chemickém složení eNPs. Výsledky potvrdily, že nejenom eNPs CdO a PbO, ale i oxidy esenciálních prvků a TiO₂ ve formě NPs jsou pro organismus toxické. Potenciální zdravotní rizika spočívající v poškození tkání a orgánů a dalších negativních dopadech na organismus vzrůstají s rostoucí délkou expozice a koncentrací NPs. Výsledky analýz exponovaných myší významným způsobem přispěly k hodnocení zdravotních rizik pro lidskou populaci způsobených přítomností studovaných eNPs ve volném ovzduší nebo v pracovním prostředí.



Obr. 20. Distribuce kovů mezi studované orgány myši po 6týdenní expozici nanočásticemi PbO, CdO, CuO, Mn₃O₄ a ZnO a 13týdenní expozici TiO₂.

Oddělení separací v tekutých fázích (FPS)

Vedoucí: Jana Lavická

Toto oddělení vzniklo k 1.7.2013 sloučením dvou předchozích organizačních jednotek, oddělení separací v kapalně fázi a oddělení superkritické fluidní extrakce a chromatografie. V činnosti oddělení lze stále vysledovat programové stopy obou „rodičovských“ formací. Lze říci, že právě toto oddělení je „ideovým dědicem“ původních skupin plynové a kapalinové chromatografie z dob počátků ústavu.

V současné době se výzkum oddělení FPS zaměřuje na teorii, metodologii a vývoj analytických přístrojů pro elektroforetické a chromatografické separace a různé analytické aplikace a lze jej rozdělit do šesti výzkumných témat:

- Technologie kolon
- Využití stlačených tekutin
- Glykomická analýza
- Analýza buněk a (bio)částic
- Markery izoelektrických bodů

Pro ilustraci činnosti oddělení jsou dále popsána dvě témata: izoelektrická fokusace, pocházející z původního oddělení separací v kapalně fázi, a využití superkritické vody v analytických separačních metodách, navazující na program někdejšího oddělení superkritické fluidní extrakce a chromatografie.

Izoelektrická fokusace

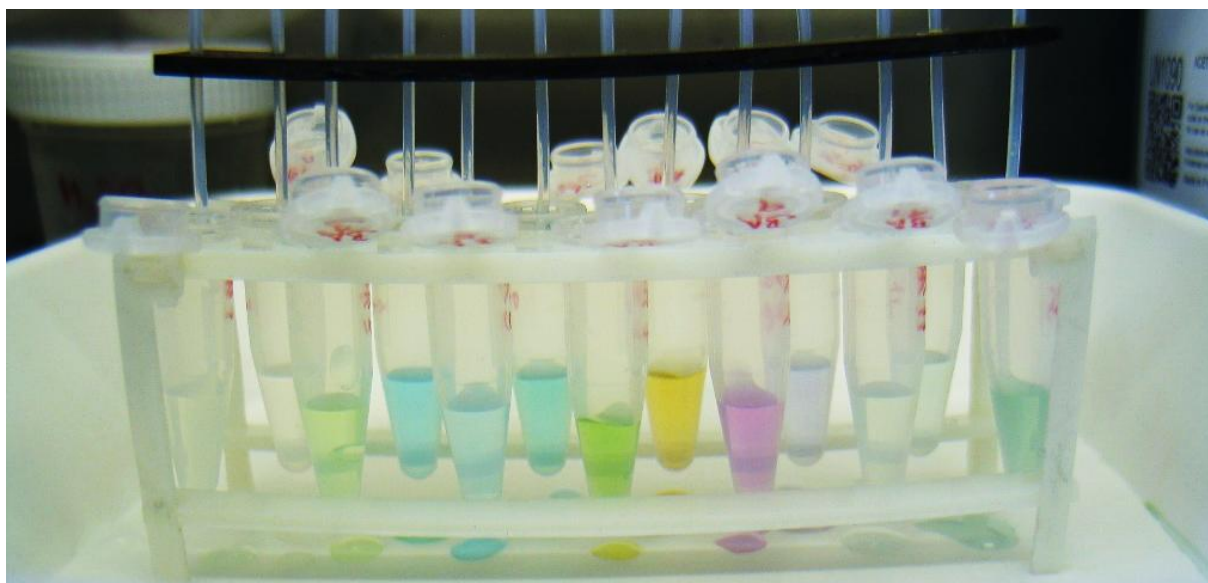
Filip Duša

Izoelektrická fokusace je metoda analýzy proteinů, peptidů a dalších látek, která má v Ústavu analytické chemie AV ČR v Brně významnou vývojovou tradici. Tato analýza probíhá na pozadí tzv. pH gradientu (postupně se zvyšující pH napříč separačním prostorem) a v ustáleném stavu se látky ze zkoumaného vzorku soustředí v pozici, kde lokální hodnota pH odpovídá jejich izoelektrickému bodu (viz níže). Izoelektrická fokusace může být realizována v různých tvarech separačního prostoru, jako například v křemenných kapilárách, v loži z netkané textilie, v plastovém kanálku naplněném gelem nebo na speciálně navrženém separačním čipu.

Látky analyzované pomocí izoelektrické fokusace musejí mít charakter amfolytu. Amfolyty jsou podskupinou amfoterních látek (schopnost jedné struktury vystupovat v roztoku jako kyselina i jako zásada), které ve své struktuře zahrnují jak kyselé, tak i bazické funkční skupiny. Tyto skupiny pak amfolytům v závislosti na pH roztoku umožňují mít celkový náboj molekuly od záporného přes nulový náboj až po náboj kladný. Tato vlastnost je charakteristická například pro aminokyseliny. Peptidy a proteiny, které jsou složeny z aminokyselin, jsou také amfolyty. Amfolyty jsou také charakteristické přesně danou hodnotou pH, při které mají celkový náboj roven nule. Této hodnotě se říká izoelektrický bod a je jedinečný pro každou danou strukturu amfolytu. Například u proteinů je dán nejen výskytem jednotlivých druhů aminokyselin, ale i jejich pořadím v řetězci. V organismu jsou navíc proteiny často modifikovány dalšími funkčními skupinami (glykosylace, fosforylace atd.) zajišťujícími například aktivaci enzymu, rozpoznání proteinu jinými strukturami, či případně určující prostorové umístění v buňce. Jelikož je většina těchto modifikací zajišťována nabitými skupinami, má také každá takto modifikovaná struktura proteinu rovněž vlastní unikátní izoelektrický bod, který je rozdílný od původního nemodifikovaného proteinu.

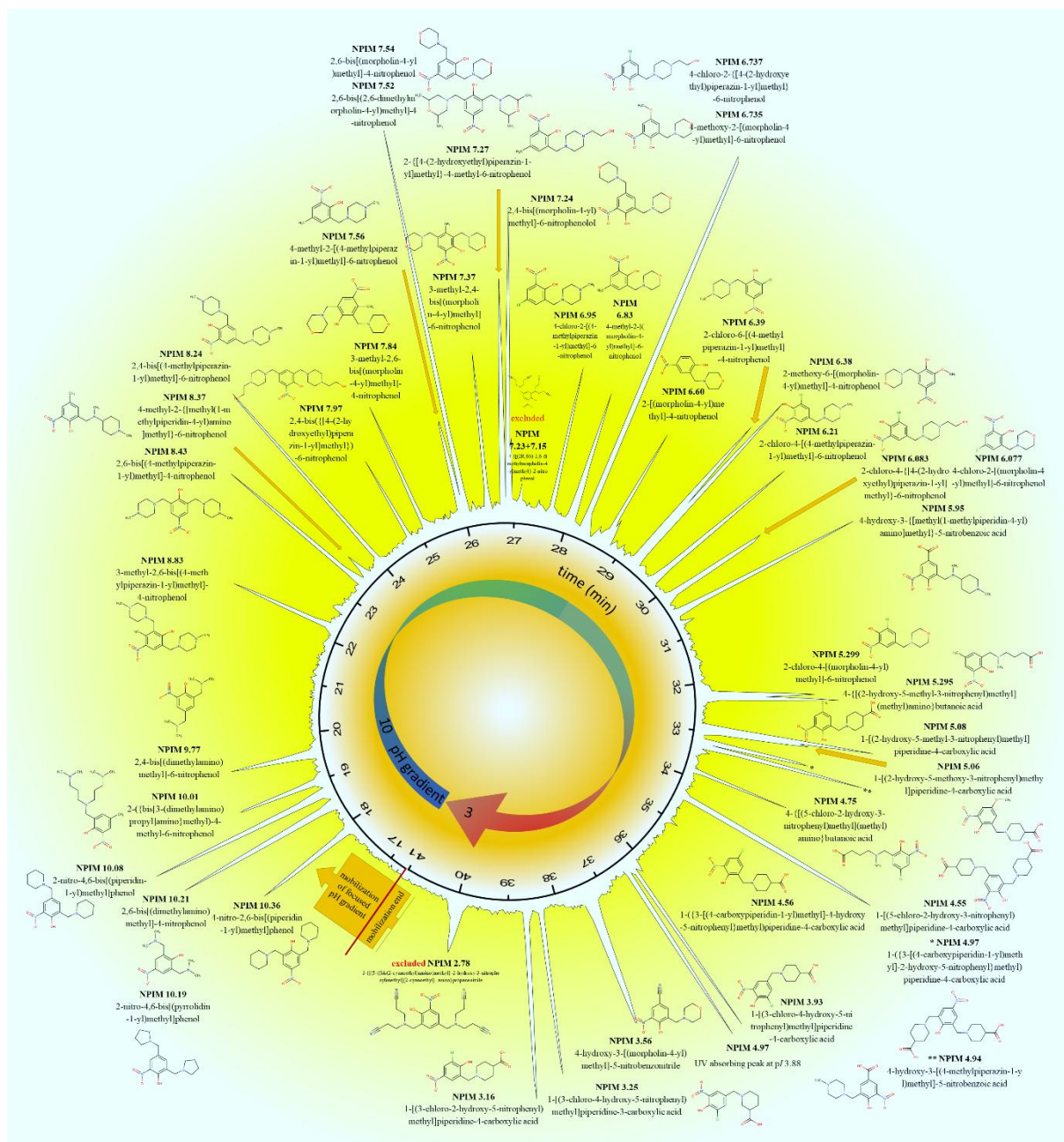
Izoelektrická fokusace je metoda vyvinutá pro rozdělení látek s odlišnými izoelektrickými body. První část názvu metody tedy přímo souvisí s unikátním izoelektrickým bodem každé analyzované látky. Slovo fokusace (z anglického „focusing“ čili soustředění se na jedno místo) pro změnu souvisí s průběhem samotné analýzy. Základní podmínkou pro separaci je vytvoření tzv. pH gradientu. V principu jde o to, že se v roztoku po délce separačního prostoru kontinuálně mění pH od kyselého po bazické. V elektrickém poli se pak v tomto pH gradientu pohybují amfolyty a fokusují se v místě, kde pH odpovídá jejich izoelektrickému bodu. Hotová separace je pak signalizována vytvořením jednotlivých zakoncentrovaných zón všech amfolytů obsažených ve vzorku. Nejdůležitější skupinou látek, pro které je tato separační metoda vhodná, jsou proteiny, peptidy a jejich směsi, ale touto metodou je možné separovat i celé buňky.

V našem ústavu se vyvíjí jak jednotlivé varianty separačních metod založených na izoelektrické fokusaci, tak i speciální barevné sloučeniny pro přesný popis (trasování) pH gradientu, tzv. markery izoelektrického bodu. Tyto markery mají jedinečnou schopnost přesně určit pH v místě, kde se marker nachází. Díky jejich unikátní barevnosti máme pak možnost přímo vlastníma očima sledovat, jak se v průběhu analýzy jednotlivé markery oddělují ze směsi a fokusují do svých pozic (viz Obr. 21). Nejen že sledovat průběh analýzy je velmi ilustrativní a edukativní, ale zároveň to umožňuje i rychlou a průběžnou úpravu nastavení parametrů separace pro dosažení co nejlepších výsledků.



Obr. 21. Ukázka separovaných frakcí po preparativní izoelektrické fokusaci se separovanými markery izoelektrického bodu.

Vývoj v oblasti těchto markerů na našem ústavu zosobňoval doc. RNDr. Karel Šlais, DrSc. Ve spolupráci s prof. RNDr. Zdeňkem Friedlem, CSc., z nedaleké Fakulty chemické Vysokého učení technického v Brně navrhli a syntetizovali první varianty těchto látek a otestovali jejich funkčnost. První generace markerů vyvinutých v devadesátých letech byla založena převážně na modifikovaných nitrofenolech (viz Obr. 21). Využití nitrofenolů jako základní struktury zapříčinilo jejich barvu v různých odstínech žluté až oranžové. Následovaly další dvě dekády vývoje barevných markerů, později už pouze v rámci týmu doc. Karla Šlaise. Postupně byly vyvinuty látky dalších barev (viz Obr. 22) a dokonce látky fluoreskující při různých vlnových délkách. To umožnilo značení pH gradientu v mnoha rozličných metodách a rozšířilo vědeckou spolupráci při používání vyvinutých markerů nejdříve v rámci Evropy a následně i celosvětově. Díky jejich relativně levné syntéze bylo navíc možné markery použít i v preparativních analýzách. V takových analýzách by jinak bylo využití proteinových nebo peptidových markerů (jako jejich hlavní alternativy) velice drahé z důvodu velkého požadovaného množství a nepraktické z důvodu nízkého počtu dostupných barevných proteinů.

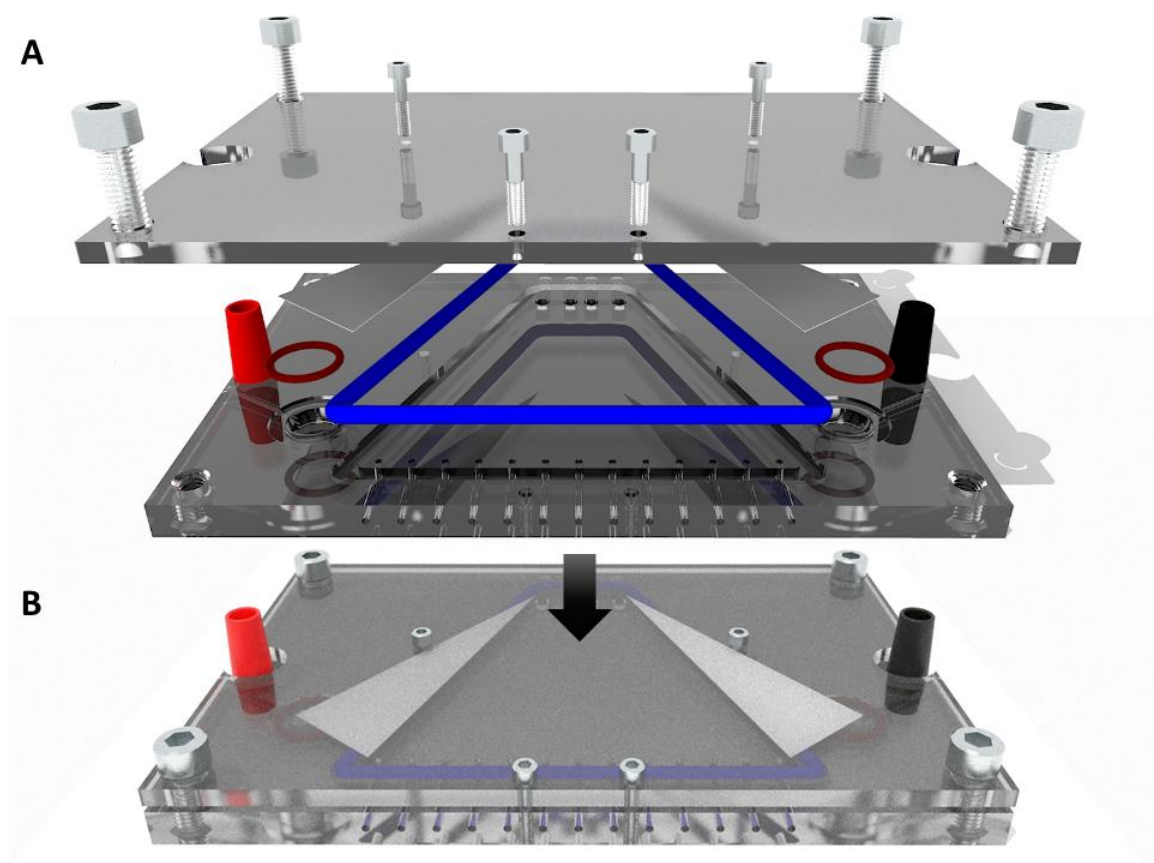


Obr. 22. „IEF Slunce“ - záznam jedné separace interpretovaný jako kruh spolu se strukturami 49 zafokusovaných markerů první generace (žlutých markerů založených na nitrofenolu) pokrývajících pH gradient od 3 do 10.

Vývoj preparativních metod izoelektrické fokusace má také dlouhou tradici v rámci Oddělení separací v tekutých fázích, tento vývoj je rovněž těsně svázán s vyvinutými barevnými markery. Jde především o separační metody v plochých separačních kanálech, případně v separačním prostoru z porézních materiálů, umožňující kontinuální separaci vzorku (tj. stálé dávkování vzorku na začátku separačního prostoru a průběžné odebírání rozseparovaných frakcí na jeho konci). Tyto metody umožnily zpracovat i vzorky o velkém objemu a zakoncentrovat v nich nejen proteiny a peptidy, ale rovněž i některé viry, bakterie a kvasinky. Separace mikroorganismů je velmi ceněná především z důvodu možnosti jejich následné detekce a identifikace bez aplikace mnohdy zdlouhavých mikrobiologických metod. Díky těmto nově vyvinutým metodám se podařilo navázat spolupráci s odborníky v mikrobiologii a v rámci ní

řešit projekty pro detekci patogenních mikroorganismů. Mezi nejnovější trendy zde patří vývoj nových zařízení pomocí aditivní výroby zahrnující tvorbu prostorových modelů a následný 3D tisk prototypů těchto zařízení (viz Obr. 23).

Opakem preparativních metod jsou metody pracující s objemy v řádu mikrolitrů až nanolitrů. Mezi ně se řadí i kapilární izoelektrická fokusace, která se v našem oddělení rozvíjela souběžně s preparativními metodami, především pod taktovkou Ing. Marie Horké, CSc. V této metodě se využívají křemenné kapiláry o délce několika desítek centimetrů, ale vnitřní průměr mají pouhých 50–100 mikrometrů, tedy ekvivalent šířky lidského vlasu. V takové kapiláře jsme pak schopni dosáhnout mnohem vyšších separačních účinností, což nám umožní rozlišit i isoformy jednotlivých proteinů (lišící se i pouze jedinou změnou aminokyselinou v celém řetězci několika desítek či stovek aminokyselin), některé fenotypy buněk stejného druhu (např., spora nebo aktivní buňka), či buňky rozdělit podle jejich aktuální kondice. Vývoj těchto metod je velmi důležitý i s ohledem na nedávnou pandemii a na časté zmínky o biologických zbraních, které se bohužel v posledních letech objevují. U obou hrají hlavní úlohu lidské patogeny. V rámci vývoje náš tým stále pracuje jak na vylepšení samotné separační metody, tak i následné detekce, což ve výsledku umožní rychlou a přesnou identifikaci mikroorganismů. Takto rychle získané informace o druhu mikroorganismu pak mohou významně posloužit bezpečnostním či zdravotnickým složkám při ochraně našeho i jejich vlastního zdraví.



Obr. 23. IEF čip: zařízení pro kontinuální separaci mikroorganismů v rozloženém A) a sestaveném stavu B); vzorek mikroorganismů je dávkován horními otvory spolu s pracovními roztoky a separované frakce jsou odebírány pomocí hadiček ústících z dolních odběrných kanáleků.

Využití superkritické vody v analytických separačních metodách

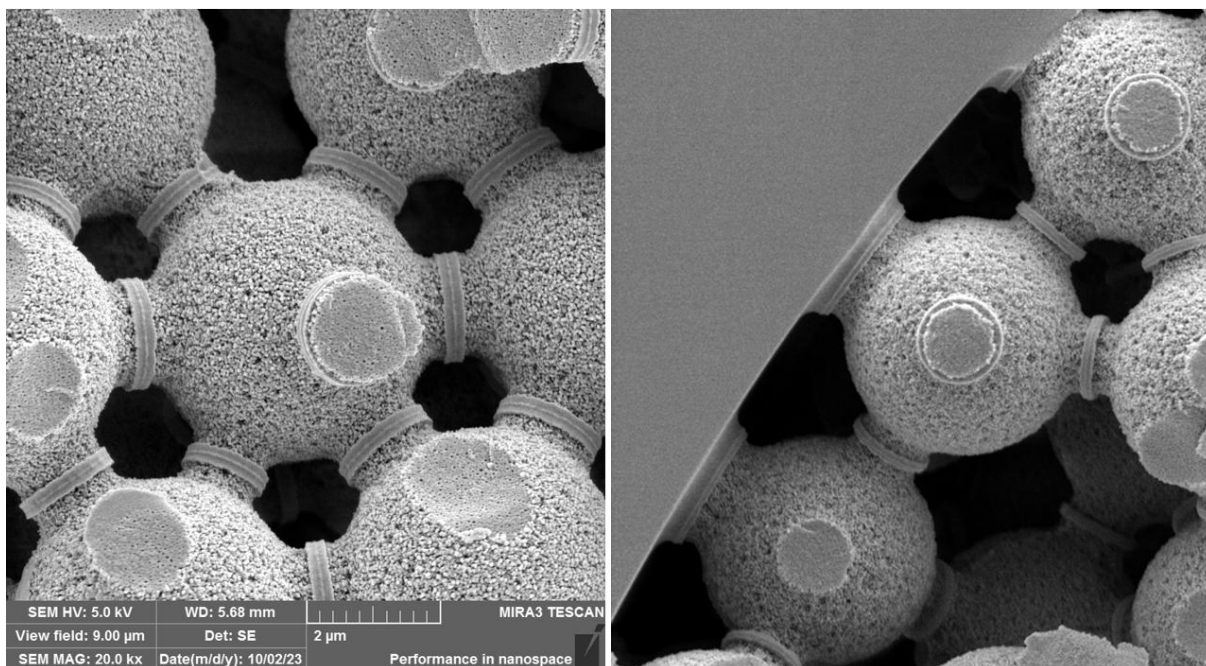
Pavel Karásek, Michal Roth

Interakce oxidu křemičitého se superkritickou vodou hraje významnou roli při transportu a ukládání křemičitých minerálů v zemské kůře. Krásné krystaly různě zbarvených odrůd křemene, které vidáme v muzejních expozicích, obvykle vznikají právě krystalizací z velmi horkých hydrotermálních roztoků. Většina stimulů ke studiu a modelování těchto interakcí proto přichází z oblasti geochemie. Křemičité materiály se dnes ovšem široce uplatňují i v řadě dalších oborů včetně analytických separačních metod (skleněné substráty pro mikročipová separační zařízení, kapiláry z taveného křemene, sorbenty pro kapalinovou chromatografii), přičemž jejich exponované povrchy je před použitím zpravidla nutno mechanicky či chemicky upravit. Nabízí se tedy geochemicky inspirovaná možnost využít k těmto úpravám superkritické vody, která má schopnost křemičité materiály leptat či „rozpouštět“.

Povrchovým úpravám křemičitých materiálů pro účely analytických separačních metod s využitím superkritické vody se věnujeme dlouhodobě. Většina naší výzkumné činnosti v tomto směru byla soustředěna na materiály z čistého oxidu křemičitého. Zatím jedinou výjimkou bylo použití horké vody k leptání mikrokanálek v substrátech pro laboratorní mikročipy, zhotovených z borosilikátového skla²². Ukázalo se, že ve srovnání s obvyklými postupy leptání kyselinou fluorovodíkovou vede použití horké vody k lépe definovaným, jemněji říditelným a rychleji dosažitelným výsledkům.

Řadu studií jsme věnovali vlivu pracovních podmínek při leptání na morfologii vnitřního povrchu kapilár z taveného křemene²³. Využití superkritické vody umožňuje i přípravu některých neobvyklých forem, například kónických kapilár²⁴ (s podélným gradientem vnitřního průměru) nebo kapilár s podélným gradientem drsnosti vnitřní stěny. Takto upravené kapiláry pak byly využívány k elektromigračním separacím klinicky či potravinářsky významných mikroorganismů²⁵.

Modifikace vnitřního povrchu kapilár působením superkritické vody je sice inovativní, ovšem podstatně vyšší potenciál tohoto neobvyklého média jsme objevili v jeho použití při přípravě mikronáplňových kolon pro HPLC. V tomto směru jsme zatím testovali možnost použít *in situ* generovanou superkritickou vodu k povrchové úpravě silikagelových mikrokuliček (5 μm) naplněných do křemenné kapiláry o vnitřním průměru 100 μm . Výsledek byl překvapivý – tato operace změnila náplňovou kolonu naplněnou diskretními částicemi v „monolitickou“ kolonu zcela nového typu, v níž jsou nejbližší sousedící mikrokuličky propojeny můstky z téhož materiálu, který byl působením superkritické vody redistribuován z povrchu mikrokuliček²⁶. Tím vznikl robustní monolit s relativně pravidelnou strukturou. Protože stavebním kamenem mikrokuliček i křemenné kapiláry je SiO_2 , formují se spojovací můstky i mezi vnitřní stěnou kapiláry a nejbližšími mikrokuličkami (Obr. 24). Pro robustnost a stabilitu vzniklých kolon je tento efekt zřejmě velmi významný. Proti výchozí náplňové koloně má tato „monolitická“ kolona vždy vyšší frakci volného objemu a tedy nižší tlakový spád (při stejné průtokové rychlosti mobilní fáze). Ukazuje se, že ve srovnání s výchozími náplňovými kolonami poskytuje nový typ monolitických kolon značně vyšší účinnost za podstatně nižšího tlakového spádu.



Obr. 24. Snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu ukazující spojovací můstky mezi nejbližšími sousedícími mikrokuličkami vytvořené působením superkritické vody. Na obrázku vpravo jsou patrné i můstky mezi mikrokuličkami a vnitřní stěnou kapiláry.

Na závěr lze zmínit, že pro účely modifikace křemenných povrchů je superkritická voda velmi účinným médiem, které však není příliš „uživatelsky přátelské“ v důsledku nekomfortně vysokých hodnot kritické teploty (374 °C) a kritického tlaku (22 MPa) vody. Kromě toho superkritická voda zajisté není médiem, které by bylo běžně užíváno ve standardních analytických laboratořích. Pro plné využití potenciálu superkritické vody tedy bylo a ještě bude potřeba překonat řadu technických obtíží. Tato skutečnost je zřejmě jednou z příčin toho, že, jak se zdá, jsme zatím ve světovém měřítku jediným pracovištěm, které se tímto směrem vydalo. Velmi šťastnou okolností je pro nás to, že polyimid nanášený jako ochranná povrchová vrstva křemenných kapilár snáší bez rozkladu i teploty kolem 400 °C.

Oddělení stopové prvkové analýzy (TEA)

Vedoucí: Jan Kratzer

Oddělení stopové prvkové analýzy sídlí v krčském areálu AV ČR v Praze a součástí Ústavu analytické chemie je od roku 1993. Intenzivně spolupracuje s několika zahraničními skupinami, rovněž se intenzivně věnuje popularizaci vědy a vzdělávání středoškoláků. Oddělení je zaměřeno na stopovou prvkovou a speciální analýzu metodami atomové spektrometrie. Vyvíjí metody a jejich aplikace pro účely biomedicínského a environmentálního výzkumu s důrazem na následující témata:

- Nové atomizátory těkavých sloučenin založené na plazmových výbojích
- Chemické či fotochemické generování těkavých forem prvků
- Plazmatem asistované generování těkavých specií
- Vývoj instrumentace pro atomovou fluorescenční spektrometrii

- Speciační analýza technologicky kritických prvků
- Speciační analýza toxikologicky závažných metabolitů arsenu
- Prekoncentrace těkavých sloučenin
- Metalomika
- Studium mechanismů generování, prekoncentrace a atomizace těkavých sloučenin včetně použití radioaktivních indikátorů

Činnost oddělení bude níže charakterizována obecnějším textem o stopové prvkové analýze a dále informací o technice generování hydridů a jejím praktickém využití.

Stopová prvková analýza a atomová spektrometrie

Tomáš Matoušek

Lidé odedávna potřebovali z rozličných důvodů zjišťovat obsah prvků, zejména kovů, v různých materiálech. Ať už šlo o to určit, jaký kov obsahuje daný minerál nebo ruda, či zda ten či onen byl opravdu otráven arsenem. Tradičně se analýzy dělaly na mokré cestě a kvalitativní i kvantitativní analýza byla založena na vzniku charakteristického zabarvení či sraženiny. Milovníci českých komedií si jistě vybaví scénku točící se kolem prokázání hliníku ve vzorku z filmu Marečku, podejte mi pero. V kvantitativní analýze se používaly jednoduché metody založené na vážení (gravimetrie) a titrování (volumetrie). Ani dnes nevymizely tyto metody z analytické praxe úplně a to díky své jednoduchosti a nenáročnosti. Nicméně během 20. století postupně nabývaly na významu instrumentální analytické metody. Ty jsou nejčastěji založené buď na elektrochemických dějích, nebo na interakci vzorku se zářením a měření odpovídajících spekter. Nejznámější elektrochemickou metodou je polarografie, za jejíž objev získal Jaroslav Heyrovský v roce 1959 Nobelovou cenu. Ze spektroskopických metod se jako první široce rozšířila plamenová fotometrie. Analytické přístroje se však neustále zdokonalují. Proti dnes používaným instrumentálním metodám se ty původní zmiňované výše jeví asi jako školní mikroskop proti elektronovému.

Atomová absorpční spektrometrie

Rozvoj stopové prvkové analýzy začal v 70. letech minulého století se zavedením metody atomové absorpční spektrometrie (AAS). Tato poměrně jednoduchá technika využívá měření absorpce elektromagnetického záření volnými atomy prvků. Aby mohlo dojít k absorpci záření volnými atomy analytu v základním stavu, musí mít záření vhodnou vlnovou délku, resp. energii, přesně odpovídající energetickému rozdílu mezi základním a excitovaným stavem. Energie záření je tak specifická pro každý prvek. Zdrojem záření bývají speciální výbojky, nejčastěji výbojky s dutou katodou či bezelektrodové výbojky, které v sobě obsahují stanovovaný prvek. Při zapnutí výbojky v ní dochází k procesům atomizace a následné excitace volných atomů. Při jejich de-excitaci dochází k vyzáření fotonů s energií, jež může být následně absorbována volnými atomy analytu. Množství absorbovaného záření je podle Lambert – Beerova zákona přímo úměrné koncentraci stanovovaného prvku ve vzorku. Analyt se převádí ze vzorku na formu volných atomů v atomizátoru a vždy je třeba k tomuto procesu dodat energii. Prvními a nejjednoduššími atomizátory byly hořáky s plamenem acetylen-vzduch, do nichž byl zmlžován kapalný vzorek. Takové uspořádání dovolilo stanovit většinu prvků

periodické tabulky na úrovni mg L^{-1} (ppm, parts per milion). Omezením této metody je zejména nízká účinnost zmlžování (v jednotkách %), velké zředění analytu plyny v plameni, a tedy velmi krátká doba setrvání analytu v optické ose spektrometru. Pro mnohem citlivější analýzy se postupně začaly používat spektrometry s elektrotermickou atomizací. V tomto uspořádání je atomizátorem grafitová trubička (délka 3 cm, průměr 0,5 cm) vyhřívána odporově elektrickým proudem. Malý objem kapalného vzorku (10-20 μL) je automaticky dávkován přímo do atomizátoru. Ten je následně zahříván v několika krocích, přičemž dochází postupně k vysušení vzorku (100-150 $^{\circ}\text{C}$), jeho rozkladu (800-1000 $^{\circ}\text{C}$) a konečně i atomizaci a detekci analytu (2000 $^{\circ}\text{C}$). AAS s grafitovými atomizátory byla nejrozšířenější v 90. letech minulého století. Umožňuje stanovení prvků až tisíckrát citlivěji než plamenová AAS, tj. na úrovni $\mu\text{g L}^{-1}$ (ppb, parts per billion). Principiální nevýhodou AAS je, že dovoluje v jednom měření stanovit pouze jeden prvek. Pro stanovení jiného analytu ve stejném vzorku je nutné měnit nastavení přístroje a analýzu opakovat. To prodlužuje čas analýzy a zvyšuje nároky na obsluhu.

Optická a hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

Proto se už v 90. letech začaly prosazovat spektrometry, ve kterých se aerosol vzorku zmlžuje do indukčně vázaného plazmatu (ICP, z angl. inductively coupled plasma). Argonové plazma má teplotu okolo 10 000 $^{\circ}\text{C}$, obsahuje tedy velké množství energie. Sloučeniny obsahující stanovovaný prvek jsou kompletně rozloženy, vznikají volné atomy v základním i excitovaných stavech a také nabitě ionty. Excitované atomy a ionty emitují záření na charakteristických vlnových délkách. Vzniká spektrum elektromagnetického záření, které obsahuje kvalitativní i kvantitativní informace o vzorku. Z vlnových délek čar ve spektru lze usuzovat, které prvky jsou ve vzorku přítomné, z intenzity těchto čar lze vypočítat koncentraci daného prvku. Přestože citlivost optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES) je jen o málo lepší než plamenové AAS, jedná se dnes o běžně používanou a robustní metodu se širokým uplatněním v rutinní praxi. Důvodem je hlavně možnost simultánního stanovení všech požadovaných analytů v rámci jedné analýzy v případě ICP-OES.



Obr. 25. Výbojka s dutou katodou jako zdroj záření v AAS (vlevo), plamenový atomizátor pro AAS (uprostřed) a indukčně vázané plazma jako zdroj iontů pro ICP-MS (vpravo).

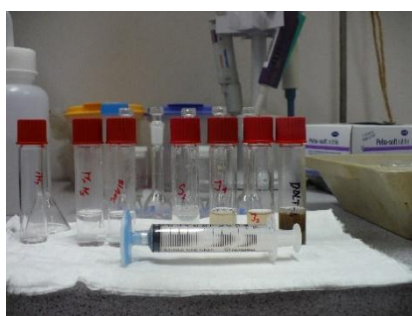
Faktu, že v argonovém plazmatu vznikají ionty, využívá spojení ICP s hmotnostní spektrometrií (ICP-MS). Zde ionty vzniklé v plazmatu fyzicky vstupují do hmotnostního spektrometru, kde jsou separovány, a je registrováno hmotnostní spektrum. Plazmová hlavice je prakticky stejná jako u ICP-OES. Svazek nabitých iontů je fokusován iontovou optikou a vstupuje do analyzátoru, kde jsou ionty separovány podle poměru hmotnosti a náboje (m/z) a přímo dopadají na detektor. Analyzátorů jsou většinou jednoduché hmotnostní kvadrupóly s rozlišením dostačujícím pro odlišení izotopů lišících se o jednotku. Pro speciální aplikace existují i ICP-MS

spektrometry s vysokým rozlišením. Teoretické základy hmotnostní spektrometrie jsou známy poměrně dlouho. Zavedení ICP-MS do praxe dlouho bránil technický problém, kterým bylo převedení iontů z horkého plazmatu za podmínek atmosférického tlaku do prostředí nízkého tlaku (vakua) uvnitř spektrometru. Na počátku 21. století se metoda ICP-MS postupně stala hlavním nástrojem stopové prvkové analýzy. ICP-MS umožňuje stanovit prvky na koncentrační úrovni ng L^{-1} (ppt, parts per trilion). Jedná se o nejcitlivější techniku v oblasti stopové prvkové analýzy, která navíc umožňuje simultánní stanovení prvků.

Všechny výše popsané metody analytické atomové spektrometrie jsou metody relativní. Kvantifikace se provádí na základě porovnání signálu vzorku se signály standardů o známé koncentraci.

Příprava vzorku k analýze

Příprava vzorku je nedílnou součástí analýzy a někdy může být i její Achillovou patou. Většina analytických instrumentálních metod je uzpůsobena pro vnášení kapalných vzorků. Pevné vzorky musí být převedeny do kapalné formy s jednoduchým složením matrice. To se typicky provádí rozkladem v kyselinách za zvýšené teploty a tlaku. V případě málo rozpustných vzorků se postupuje drastičtějšími metodami, např. s použitím alkalického tavení. Roztoky po rozkladu je třeba před analýzou mnohonásobně zředit, aby do přístrojů nebyly vnášeny vysoké koncentrace kyselin a dalších pomocných látek použitých při rozkladu. Během celého procesu předúpravy vzorku je zapotřebí vyvarovat se rizik kontaminace vzorku nebo ztrát analytu. Analytické metody kompatibilní s dávkováním pevného vzorku nebo jeho suspenze existují, mohou být však využity spíše okrajově. Za zmínku stojí metody využívající laserové ablace (LA). Materiál vzorku je laserovým pulsem vypařen, a odpařené částice jsou vedeny do ICP-MS, kde jsou atomizovány, následně ionizovány a detegovány (viz výše).



Journal of Radioanalytical Chemistry, Vol. 11 (1972) 305–337
RADIOANALYTICAL METHODS FOR THE NON-DESTRUCTIVE
ANALYSIS OF LUNAR SAMPLES
Z. ŘANDA,* J. BENADA,* J. KUNCÍŘ,* M. VOBECKÝ,** J. FRÁNA**
*Institute of Mineral Raw Materials, Kutná Hora (Czechoslovakia)
**Nuclear Research Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences,
Řež near Prague (Czechoslovakia)

Obr. 26. Zařízení pro mikrovlnný rozklad vzorků (vlevo), extrakce specií rtuti z pevných vzorků (uprostřed) a publikace československých autorů v mezinárodním časopise zaměřená na analýzu vzorků z Měsíce získaných pomocí INAA (vpravo).

Další možností je spektrální analýza plazmatu vznikajícího na povrchu vzorku při laserovém pulzu, pak mluvíme o spektroskopii laserem buzeného plazmatu (LIBS, z angl. laser induced breakdown spectroscopy). Emise z plazmatu je vyhodnocována analogicky jako v případě ICP-OES (viz výše). Metody s laserovou ablací lze využít i k mapování prvkového zastoupení ve vzorku s rozlišením ve stovkách mikrometrů. Další metodou umožňující přímou analýzu pevných vzorků je instrumentální neutronová aktivační analýza (INAA). Vzorek je bombardován neutrony, přičemž dochází k přeměně analytu na jiný, nestabilní radionuklid. Jeho následný rozpad je doprovázen emisí záření gama o určité energii. Spektrum energií záření gama je detegováno a jednoznačně z něj může být určeno kvalitativní složení vzorku. Tato metoda je

instrumentálně velmi náročná, jelikož vyžaduje zdroj neutronů, jímž je nejčastěji výzkumný jaderný reaktor. Proto není využívána běžně, ale jen tehdy, kdy je to účelné a nezbytné. Vývoj INAA má v naší zemi dlouhou tradici. Již za dob bývalého Československa byla tato metoda zde na špičkové úrovni. Svědčí o tom fakt, že NASA poslala do tehdy komunistické země na analýzu kovů pomocí INAA vzorky regolitu z Měsíce pocházející z amerických lunárních expedic Apollo.

Speciační analýza prvků

S kompletním rozkladem vzorku je spojena i ztráta informace o formě, ve které se prvek ve vzorku vyskytoval. Přitom různé chemické formy prvku, tzv. specie, mohou mít velice různé fyzikálně-chemické vlastnosti, které výrazně ovlivňují jejich toxicitu, biologickou aktivitu, biodostupnost, či mobilitu v životním prostředí. Stopová speciační analýza je proto v současnosti jedním z hlavních trendů ve stopové prvkové analýze. Její provedení umožňuje lépe studovat přírodní, biochemické a biologické procesy. Znalost zastoupení jednotlivých specií prvku také dovoluje lépe posuzovat míru škodlivosti daného prvku při jeho výskytu v životním prostředí či naopak jeho využitelnosti živými organismy. Požadavek na provádění speciační analýzy začíná pomalu pronikat i do legislativy, kdy jsou uváděny limity pro přítomnost konkrétní chemické formy (například anorganického arsenu) namísto celkového obsahu prvku. Metody atomové spektrometrie ze své podstaty, kdy dochází k atomizaci molekul obsahujících analyt, detegují pouze prvek samotný, nikoliv jeho formu (specii). Díky své vysoké citlivosti a selektivitě jsou však atomové spektrometrické metody přesto nejvhodnějšími detektory i pro speciační analýzu. Musí však být splněna jedna zásadní podmínka, a sice aby jednotlivé specie prvku přítomné ve vzorku byly vnášeny do detektoru postupně. Detekční metodě se proto předřazuje separační metoda, například kapalinová či plynová chromatografie, která dokáže rozdělit jednotlivé formy prvku a ty jsou pak detegovány odděleně. Této separaci předchází komplikovaná příprava vzorku, zahrnující šetrnou extrakci jednotlivých specií z matrice vzorku. Často je rovněž nutné specie analytu po extrakci prekoncentrovat z většího objemu vzorku. Separace i přípravné procesy už jsou vysoce specifické a šité na míru pro daný problém, typ vzorku a prvek. Uplatnění stopové a speciační analýzy prvků je velmi široké. Následující příklady ilustrují, jak rozmanité jsou problémy, kterými se na Oddělení stopové prvkové analýzy Ústavu analytické chemie AVČR zabýváme.

Stopová prvková a speciační analýza v praktických aplikacích

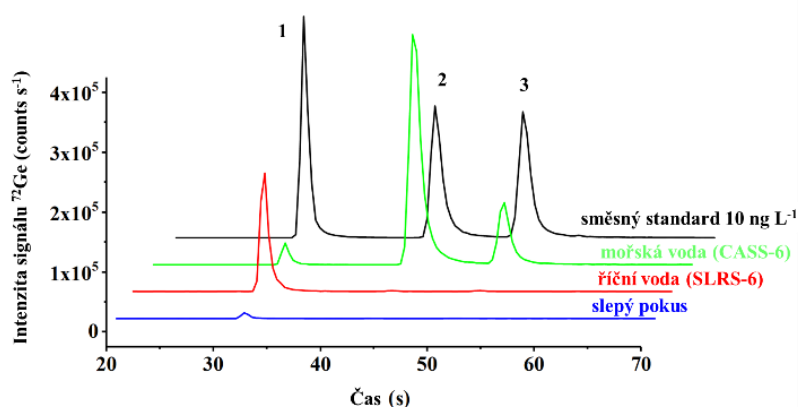
Speciační analýza arsenu v potravinách. Arsen je názorným příkladem prvku, u něhož se toxicita jednotlivých specií výrazně liší. Specie s organicky vázaným arsenem jsou většinou netoxické, zatímco ty obsahující anorganicky vázaný arsen jsou velmi toxické. Rýže a potraviny mořského původu jsou nejvýznamnějšími zdroji anorganicky vázaného arsenu z přijímané potravy. Nedávno stanovený limit pro anorganicky vázaný arsen v rýži činí $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$. Normu bylo možné zavést až poté, co byly vyvinuty rychlé a spolehlivé analytické metody umožňující kontrolu jejího splnění či překročení. Námi vyvinutá analytická metoda bezpečně odlišuje anorganicky vázaný arsen od jeho jiných specií bez nutnosti použití časově a finančně náročných postupů a je schopna detegovat toxický anorganicky vázaný arsen na koncentrační úrovni $0,001 \text{ mg kg}^{-1}$.

Speciační analýza arsenu v klinických vzorcích. Vývoj metod stopové speciační analýzy vede k lepšímu pochopení rizika a mechanismu závažných onemocnění spojených s chronickou

expozicí arsenu. Příkladem jsou analýzy buněk odloučených z výstelky močového měchýře, které po izolaci z moči pacientů mohou sloužit jako indikátor expozice arsenu. Naměřené koncentrace arsenu korelují s výskytem arsenem indukovaného diabetu. Druhým příkladem je vývoj analytické metody pro ultrastopové stanovení specií arsenu v krvi v souvislosti s mutací genu BRCA1 a výskytem karcinomu prsu.

Stanovení a speciální analýza tzv. technologicky kritických prvků. Jedná se o prvky (Ge, Te, Ir, Pd, Pt), poměrně vzácně se vyskytující, ale zároveň zásadně důležité pro použití v moderních technologiích. Jejich výskyt v přírodních vodách je v řádu nízkých jednotek ng L^{-1} , což klade vysoké nároky na analytické metody použitelné pro jejich stanovení. Důsledkem jsou nedostatečně ustanovené hodnoty přirozeného výskytu, potřebné pro monitorování případného znečištění plynoucího z lidské činnosti. Námi vyvinuté analytické metody založené na generování těkavých hydridů Ge a Te, jejich kryogenní prekoncentraci a separaci a ICP-MS detekci dokáží stanovit nejen celkový obsah, ale i specie germania a telluru s dostatečně nízkými limity detekce pro analýzy v přírodních neznečištěných vodách. U germania to je kolem $0,02 \text{ ng L}^{-1}$ pro anorganicky vázané germanium (germaničitan) a $0,01 \text{ ng/L}$ pro organické specie germania. V případě telluru dokážeme stanovit na stejných koncentračních úrovních Te(IV) a Te(VI).

Příkladem praktické aplikace námi vyvinutých metod je monitoring výskytu specií germania a arsenu v profilech Ženevského jezera v průběhu jarní sezóny. Germanium, jež má vlastnosti podobné křemíku, je v jezeře přítomné v koncentraci $1,4 \text{ ng L}^{-1}$. V průběhu jarní sezóny je spotřebováváno rozsivkami, kdy se zabudovává do jejich křemičitých schránek, a proto koncentrace Ge u hladiny klesají. V pozdějších měsících odumřelé rozsivky klesají ke dnu, schránky se rozpouštějí a koncentrace Ge opět rostou. Arsen, který je přítomný v koncentraci asi $1 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$, tj. desetkrát nižší než je limit pro pitnou vodu, má komplikovanější chemii. V zimě je přítomen jako anorganický arseničnan – As(V), který na jaře mikroorganismy redukuje na arsenitan – As(III), a zároveň přibývá methylovaných specií arsenu, které jsou produktem jejich detoxifikačního metabolismu.



Obr. 27. Speciální analýza germania ve vzorcích říční a mořské vody (záznam vlevo): (1) anorganická forma Ge; organické formy: (2) methyl- (3) dimethyl germanium; automatizovaný systém pro kryogenní prekoncentraci a následnou separaci specií germania (fotografie vpravo).

Závěrem

Výše uvedené příklady jsou z oblasti stopové prvkové a speciální analýzy, která je jen úzkou oblastí, kterou se analytická chemie zabývá. Nicméně lze v obecné rovině konstatovat, že na nich lze demonstrovat očekávání i nároky kladené na celou analytickou chemii. Tu lze vnímat jako službu společnosti, která má dva hlavní cíle, které jsou v podstatě vždy stejné. Tím prvním je vývoj analytických metod pro stanovení požadovaných složek (majoritních i minoritních, žádoucích i nežádoucích) v daném vzorku s ohledem na jeho složení, které může být u reálných vzorků velmi komplexní. Druhým cílem je rutinní použití vyvinutých analytických metod a poskytnutí relevantních výsledků. Důležitou rolí analytického chemika je navrhnout z existujících analytických metod tu nejvhodnější pro daný účel (citlivost, rychlost, přesnost, ale i cena analýzy). Dále je nutné zvolit pro daný vzorek a metodu správné instrumentální parametry, aby stejné množství analytu ve standardech i v reálných vzorcích dávalo shodnou odezvu. V řadě případů je odezva analytu ve vzorku závislá na ostatních složkách ve vzorku přítomných, tzv. matici. Správnost měření je ověřována analýzami vzorků se známým obsahem analytů, tzv. certifikovaných referenčních materiálů. Práce analytického chemika by se neměla omezit jen na prostředí laboratoře, ale měl by mít pod kontrolou celý proces odběrem vzorku a jeho transportem do laboratoře počínaje, přes jeho skladování a předúpravu až do fáze měření a zpracování dat. Výsledky analýz jsou často využívány i odborníky v dalších vědních oborech, v biologii, toxikologii, medicíně, ochraně životního prostředí či v průmyslových odvětvích. Tito koncoví uživatelé pak výsledky analýz interpretují. Aby byly jejich závěry správné, je třeba vzájemné komunikace mezi vědními obory a součinnosti analytického chemika nejlépe hned na začátku celého procesu, ještě před odběrem vzorku.

Technika generování hydridů a její praktické využití

Stanislav Musil, Jan Kratzer

Od roku 1993 je součástí UIACH také oddělení stopové prvkové analýzy, detašované pracoviště sídlící v kampusu biomedicínsky orientovaných ústavů AVČR v Praze-Krči. Ačkoli oddělení dělí od mateřského ústavu vzdálenost 200 km, při reorganizaci AVČR na počátku 90. let 20. století měla skupina anorganické analýzy tehdejšího Ústavu nukleární biologie a radiochemie (ÚNBR ČSAV) tematicky nejblíže právě k UIACH. Skupina se stále věnuje původním směrům svého výzkumu, kterými jsou vývoj metod a aplikace v oblasti atomové absorpční (AAS) a fluorescenční spektrometrie (AFS) a to hlavně ve spojení s technikou generování hydridů (HG). Dále se jedná o použití radiometrických metod a radioaktivních indikátorů, zejména pro studium mechanismu dějů probíhajících při generování, atomizaci, případně prekoncentraci těžkých sloučenin.

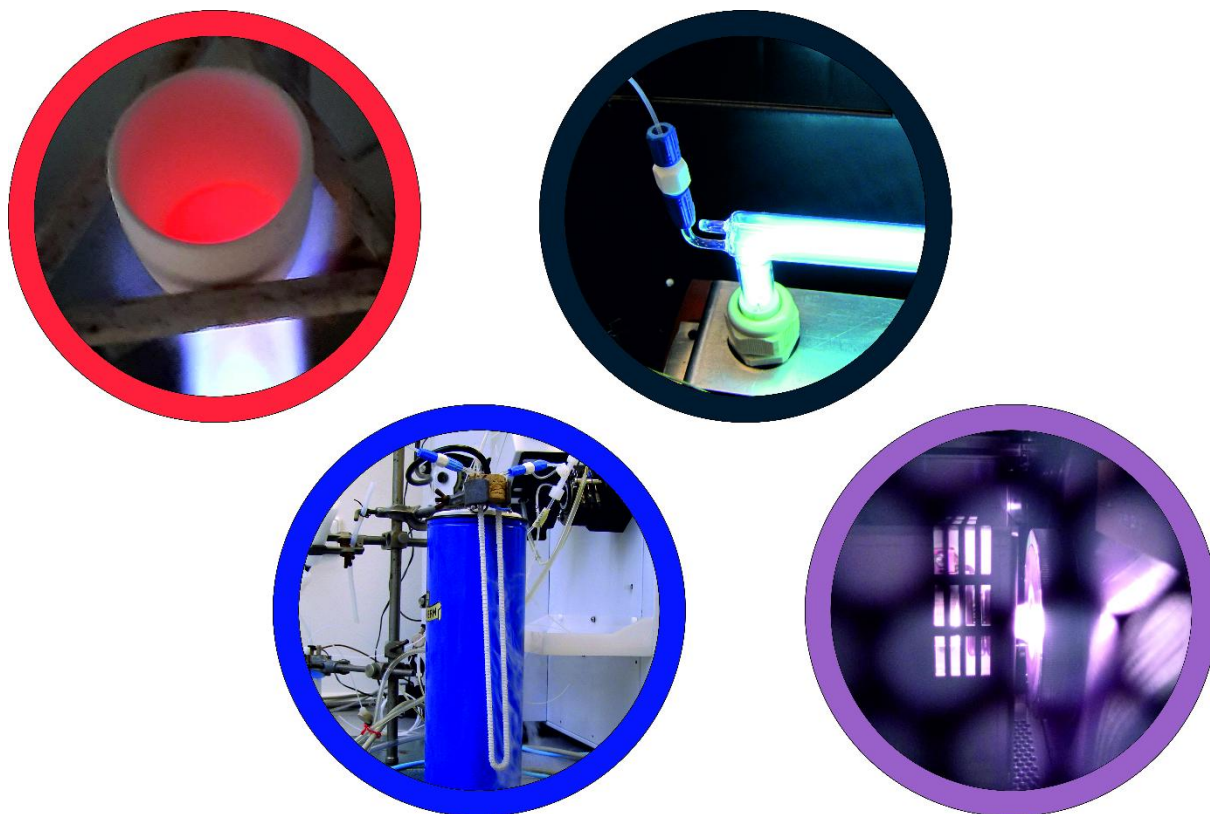
V souladu s potřebami moderní analytické chemie a trendy ve světě se výzkum oddělení rozšířil v posledních cca 15 letech také o metodu hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) s použitím jak jednoduchého, tak i trojitého kvadrupólu (ICP-MS/MS). Od stanovení celkového obsahu prvků, zejména kovů, se těžiště výzkumu posunulo k problematice speciální analýzy. Výhody techniky HG, mezi které patří vysoká, až 100%, účinnost zavedení analytu do detektoru a jeho oddělení od rušivých složek matrice, jsou hnací silou pro další

výzkum v této oblasti, který si klade dva cíle. Prvním je možnost využití výhod techniky generování těkavých specií (VSG) i pro jiné prvky než ty „klasické“, označované jako hydridotvorné (As, Se, Sb, Bi, Sn, Pb, Te, Ge) či rtuť, jež tvoří studené páry. Toho je dosaženo nejčastěji použitím fotochemického generování (PVG) místo konvenčního chemického generování s použitím NaBH_4 jako redukčního činidla.

Zajímavým a prakticky využitelným příkladem je vysoce účinné PVG těkavé specie iridia, pravděpodobně $\text{Ir}(\text{CO})_4\text{H}$, z média na bázi kyseliny mravenčí v přítomnosti iontů Co^{II} a Cd^{II} jakožto modifikátorů s následnou ICP-MS detekcí²⁷. PVG dosahuje 90% účinnosti doprovázené vynikající opakovatelností a mezemi detekce v jednotkách pg l^{-1} (ppq). Využitelnost metody byla ověřena analýzou vzorků vody (pramenitá, říční, jezerní a mořská voda) s přibližně 100% výtěžností. Metoda je použitelná i pro pevné vzorky se složitou matricí. V kombinaci s přípravou vzorku tavením s Na_2O_2 byl stanoven obsah Ir ve vzorku použitého autokatalyzátoru (Obr. 28).

Druhým cílem je integrace kroku VSG, či HG v případě hydridotvorných prvků, do analytických metod využívaných pro speciální analýzu prvků. Toho lze dosáhnout dokonce třemi různými způsoby. Jedná se o 1) selektivní generování těkavých sloučenin, 2) postkolonové generování a 3) generování alkyl-substituovaných specií (nejčastěji hydridů)²⁸.

Při selektivním generování se kontrolou reakčních podmínek generuje z roztoku vzorku pouze vybraná/vybrané specie prvku. Příkladem je speciální analýza telluru v přírodních vodách na sub-ppt koncentračních úrovních bez použití chromatografie. Vyvinutá metoda je založena na chemickém generování hydridů a ICP-MS/MS detekci s využitím TiCl_3 jako předredukčního činidla²⁹. Bez použití TiCl_3 je stanoven pouze obsah Te^{IV} , zatímco s přídavkem TiCl_3 je v dalším alikvotu vzorku stanoven obsah obou forem (Te^{IV} a Te^{VI}). Kombinace reakčních plynů He a O_2 v cele trojitého kvadrupólu umožňuje citlivé měření isotopů Te bez izobarických interferencí. Takto lze stanovit obě formy Te v přírodních a balených vodách i vzorcích říční a mořské vody bez nutnosti předúpravy vzorku s mezí detekce 70 pg l^{-1} Te.



Obr. 28. Tavení odolného vzorku s Na_2O_2 (vlevo nahoře) pro stanovení obsahu Ir v katalyzátoru automobilu technikou PVG-ICP-MS/MS. PVG reaktor (vpravo nahoře) zde slouží k účinnému a selektivnímu zavedení těkavé sloučeniny Ir do detektoru. Kryogenní past (vlevo dole) slouží k prekoncentraci i následné separaci alkyl-substituovaných hydridů při speciální analýze vybraných prvků (např. As, Hg, Ge) a může být on-line spojena s ICP-MS(/MS) detektorem (vpravo dole).

V případě postkolonového generování dochází k převedení specií analytu na odpovídající těkavé sloučeniny až po jejich chromatografické separaci. Ta je prováděna nejčastěji pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie (HPLC). Zařazením postkolonového generování dochází ke zvýšení účinnosti zavedení specií analytu do detektoru a také ke snížení rizika interferencí v důsledku oddělení analytu od mobilní fáze. Výhodnost tohoto přístupu lze demonstrovat srovnáním konvenčního spojení HPLC-ICP-MS, tj. s přímým zmlžováním mobilní fáze do detektoru, a HPLC-VSG-ICP-MS, tedy se zařazením kroku postkolonového generování³⁰. V případě speciální analýzy rtuti se díky postkolonovému generování (HPLC-VSG-ICP-MS) zvýšila citlivost 30-40 krát a meze detekce se zlepšily 5-krát ve srovnání s metodou HPLC-ICP-MS. Stanovovanými speciemi byly anorganicky vázaná rtuť (Hg^{II}), methylrtuť (MeHg^+) a ethylrtuť (EtHg^+). Zařazení postkolonového generování navíc podstatně snižuje negativní vliv organické mobilní fáze na citlivost ICP-MS, jelikož tato není zmlžena do plazmatu, což je výhodné zejména při použití gradientové eluce.

V případě generování alkyl-substituovaných hydridů jsou z roztoku vzorku společně vygenerovány těkavé specie analytu vzájemně se lišící právě stupněm alkylatione. Ty jsou následně separovány v plynné fázi a vedeny do detektoru. K separaci se s výhodou používá kryogenní past (CT) sloužící zároveň k prekoncentraci (Obr. 28). Jedná se o skleněnou/křemennou U-trubicu, která je během generování těkavých specií ze vzorku ponořena v kapalném dusíku. Za těchto podmínek dochází ke kvantitativnímu zachycení (prekoncentraci) všech specií. Poté se past kontrolovaně vyhřeje a jednotlivé specie jsou z ní

postupně uvolněny na základě svého bodu varu do detektoru (AAS, AFS nebo ICP-MS). Příkladem využití v praxi může být metoda založená na HG-CT-ICP-MS/MS vyvinutá pro speciální analýzu germania³¹. Germanium je jedním z prvků kritických pro moderní technologie. Rostoucí průmyslové využití s sebou přináší i potřebu vývoje citlivé analytické metody pro stanovení zatím velmi nízkých koncentrací specií Ge v životním prostředí a monitoring stavu do budoucna. V přírodních sladkých vodách se Ge vyskytuje jako germaničitan (iGe) v koncentracích jednotek ng l^{-1} a methyl- a dimethylgermaničitan (MGe a DMGe), v koncentracích ještě o řád nižších, zatímco v mořské vodě jsou koncentrace iGe minimální, pod 1 ng l^{-1} , ovšem v přítomnosti přibližně 20 ng l^{-1} MGe a 5 ng l^{-1} DMGe. Všechny tři specie lze chemickou redukcí pomocí NaBH_4 převést na těkavé sloučeniny: iGe tvoří GeH_4 , MGe vytváří CH_3GeH_3 zatímco DMGe je převedeno na $(\text{CH}_3)_2\text{GeH}_2$. Meze detekce dosahují pro jednotlivé specie Ge v plně automatizovaném HG-CT-ICP-MS/MS systému a při spotřebě 1 ml vzorku hodnot mezi 3-15 pg l^{-1} .

Nedávno pořízená instrumentace sestávající z ultra-účinné kapalinové chromatografie a hmotnostního spektrometru s vysokým rozlišením (Orbitrap analyzátor) a možností ionizace elektrosprejem nebo chemickou ionizací za atmosférického tlaku umožní směřovat výzkum oddělení i do oblasti metalomiky.

Oddělení jednomolekulových metod (SiMM)

Antonín Hlaváček

Dne 1. dubna 2026 bylo na Ústavu analytické chemie AV ČR založeno Oddělení jednomolekulových metod (SiMM; Department of Single-Molecule Methods). Vzniku oddělení předcházela řada výzkumných aktivit realizovaných na ÚIACH AV ČR i v mezinárodních spolupracích, které vedly k rozvoji nových přístupů v oblasti jednomolekulové detekce, absolutní kvantifikace a optické charakterizace nanorozměrných objektů. Jeho vznik představuje přirozené institucionální ukotvení tohoto výzkumného směru v rámci ÚIACH AV ČR.

Význam jednomolekulových metod pro analytickou chemii výstižně shrnul Prof. David R. Walt: „*Nejvyššího možného rozlišení při měření v analytické chemii lze dosáhnout na úrovni jednotlivých molekul – lépe to nejde.*“ (přeloženo z angličtiny, *Anal. Chem.* 2013, 85, 3, 1258–1263)

Jednomolekulové metody se tak přibližují teoretickým limitům analytické chemie. Současně představují jednu z jejích nejrychleji se rozvíjejících oblastí, která otevírá nové možnosti nejen ve výzkumu, ale také v biologii, biomedicíně, materiálové chemii a vědách o životním prostředí. Přinášejí tyto zásadní výhody:

- Detekci jednotlivých molekul, tj. práci na úrovni minimálního detekovaného množství látky.
- Možnost studia heterogenity molekulárních populací.
- Digitální (binární) charakter detekce, který minimalizuje vliv signálu pozadí.
- Absolutní kvantifikaci založenou na přímém počítání jednotlivých molekul.

SiMM rozvíjí metodiku detekce a charakterizace jednotlivých molekul a dalších nanorozměrných entit, jako jsou nanočástice, nanováčky (například extracelulární vezikuly), nanoplasty, buněčné inkluze nebo nanorozměrné nosiče léčiv, jejichž analýza je metodicky příbuzná.

Hlavní směry výzkumu

Absolutní kvantifikace

Mnoho analytických metod vyžaduje kalibraci vůči standardům o známé koncentraci. Tyto standardy však často nejsou dostupné, případně jejich příprava a skladování znamenají výrazné náklady. Metody vycházející z počítání jednotlivých entit tuto potřebu mohou eliminovat a umožnit přímé stanovení molární koncentrace molekul a číselné koncentrace nanočástic. SiMM rozvíjí metodiku, instrumentaci i automatizaci zpracování dat pro zajištění přesnosti, reprodukovatelnosti a univerzální použitelnosti.

„Slitless“ spektroskopie

Optická spektroskopie na úrovni jednotlivých nanorozměrných entit výrazně rozšiřuje možnosti analytické chemie i příbuzných oborů. „Slitless“ spektroskopie (bezštěbinová spektroskopie) zjednodušuje měření a poskytuje detailní informace o velikosti, tvaru, povrchu, agregaci a chemickém složení nanorozměrných entit. Díky mimořádné citlivosti umožňuje dokonce i spektroskopii jednotlivých nanorozměrných entit přímo v roztocích, bez nutnosti imobilizace. „Slitless“ spektroskopie na úrovni jednotlivých nanorozměrných entit otevírá prostor pro rychlé homogenní bioafinitní metody, vysoce citlivé nano(bio)senzory, nové možnosti charakterizace nanomateriálů i inovativní detekci v separačních technikách a mikrofluidice.

Přínos vzniku SiMM

Koncepčně nový výzkumný směr

Dosavadní metodické přístupy analytické chemie i hlavní výzkumné programy ostatních oddělení ÚIACH jsou zaměřeny převážně na měření spojitého analytického signálu. Přestože je tento signál generován jednotlivými molekulami, výsledné měření zachycuje jejich průměrné chování ve velkých populacích. Jednomolekulové metody se naproti tomu opírají o přímou detekci a kvantifikaci jednotlivých molekul. Nepředstavují tak pouze další analytickou techniku, ale jde také o odlišný koncept měření, který otevírá nový prostor pro analytické aplikace a poskytuje informace, které nelze získat standardními postupy.

Dlouhodobá výzkumná perspektiva

Oblast jednomolekulových metod je dynamicky se rozvíjející výzkumný směr s rostoucím mezinárodním zájmem. Vytvoření SiMM ukotvuje jednomolekulové metody jako trvalou součást výzkumného portfolia ÚIACH, nikoliv pouze jako krátkodobé projektové téma.

Rozšíření odborného zaměření a posílení prestiže ÚIACH

Jednomolekulové metody jsou v současnosti výrazně rostoucí oblastí analytické chemie. Zavedení specializovaného oddělení potvrzuje schopnost ÚIACH rozvíjet moderní směry oboru a posiluje jeho pozici v mezinárodním kontextu. Současně zvyšuje atraktivitu ústavu pro zahraniční spolupráce, grantové příležitosti a průmyslové partnery.

Zázemí pro specializovaný výzkum

Jednomolekulové metody vyžadují specifické experimentální přístupy i postupy pro zpracování dat. Vytvoření samostatného oddělení umožňuje soustředit zdroje, expertizu, infrastrukturu i personální kapacitu tak, aby výzkum probíhal efektivně a s dlouhodobou kontinuitou. Tím vzniká prostředí produkující výsledky s mezinárodní relevancí.

Aktuální výzkumné projekty

Dlouhodobá podpora Grantové agentury České republiky sehrála klíčovou roli při budování výzkumného směru jednomolekulových metod a umožnila rozvoj, který dnes tvoří základ SiMM.

Odborné zaměření oddělení se odráží také v aktuálně řešených grantových projektech. Projekt GA ČR „Optical Microscopy for Direct Counting of Molecules and Nanoparticles: Absolute Quantification without Calibration Standards“ (2024–2026) rozvíjí nové přístupy k absolutní kvantifikaci molekul a nanočástic založené na jejich přímém počítání pomocí optické mikroskopie.

Na tento směr navazuje projekt GA ČR „Wide-Field Optical Microscopy for Imaging and Slitless Spectroscopy of Molecules and Nanoparticles in Liquid Dispersions“ (2026–2028), který propojuje optickou mikroskopii, bezšterbinovou spektroskopii a metody umělé inteligence pro masivně paralelní analýzu jednotlivých molekul a nanočástic v kapalných disperzích.

Další výzkumné aktivity probíhají v rámci programu Strategie AV21 „AI: Umělá inteligence pro vědu a společnost“, kde se tým zaměřuje na vývoj umělých neuronových sítí pro automatizované zpracování obrazových dat a počítání molekul a nanočástic na snímcích získaných pomocí pokročilých metod optické mikroskopie.

Shrnutí

Oddělení jednomolekulových metod rozšiřuje odborné portfolio ÚIACH AV ČR o oblast, která dosud nebyla v rámci ústavu samostatně zastoupena. Experimentální přístupy založené na přímém studiu jednotlivých molekul a jiných nanorozměrných entit přináší nový způsob nahlížení na měření v analytické chemii a vytváří prostor pro dlouhodobý rozvoj metod stojících až na hranici možností analytické chemie. Svým zaměřením SiMM současně otevírá nové příležitosti pro mezioborovou spolupráci v biologii, biomedicíně, materiálových vědách a výzkumu životního prostředí jak pro tuzemské, tak pro zahraniční vědecké skupiny a instituce

Seznam literatury k textům jednotlivých oddělení

1. Malá M., Itterheimová P., Homola L., Vinohradská J., Kubáň P.: 3D Printed Skin-Wash Sampler for Sweat Sampling in Cystic Fibrosis Diagnosis Using Capillary Electrophoretic Ion Ratio Analysis. *Separations* 8, 234 (2021); <https://doi.org/10.3390/separations8120234> .
2. Dosedělová V., Foret F., Doubková M., Brat K., Kubáň P.: A novel temperature-controlled open source microcontroller based sampler for collection of exhaled breath condensate in point-of-care diagnostics. *Talanta* 237, 122984 (2022); <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122984> .

3. Itterheimová P., Dosedělová V., Kubáň P.: Use of metal nanoparticles for preconcentration and analysis of biological thiols. *Electrophoresis* *44*, 135 (2023); <https://doi.org/10.1002/elps.202200142> .
4. Tycova A., Prikryl J., Hemzal D.: Capillary electrophoresis and Raman: Can we ever expect light at the end of the tunnel? *TrAC – Trends Analyt. Chem.* *161*, 117017 (2023); <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117017> .
5. Tycova A., Kleparnik K., Foret F.: Bi-Ligand Modification of Nanoparticles: An Effective Tool for Surface-Enhanced Raman Spectrometry in Salinated Environments. *Nanomaterials* *9*, 1259 (2019); <https://doi.org/10.3390/nano9091259> .
6. Hlaváček A., Farka Z., Mickert M. J., Kostiv U., Brandmeier J. C., Horák D., Skládal P., Foret F., Gorris H. H.: Bioconjugates of photon-upconversion nanoparticles for cancer biomarker detection and imaging. *Nature Protocols* *17*, 1028 (2022); <https://doi.org/10.1038/s41596-021-00670-7> .
7. Hlaváček A., Křivánková J., Brožková H., Weisová J., Pizúrová N., Foret, F.: Absolute Counting Method with Multiplexing Capability for Estimating the Number Concentration of Nanoparticles Using Anisotropically Collapsed Gels. *Anal. Chem.* *94*, 14340 (2022); <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.2c02989> .
8. Hlaváček A., Křivánková J., Prikryl J., Foret, F.: Photon-Upconversion Barcoding with Multiple Barcode Channels: Application for Droplet Microfluidics. *Anal. Chem.* *91*, 12630 (2019); <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b03117> .
9. Kubáň P., Boček P.: The effects of electrolysis on operational solutions in electromembrane extraction: The role of acceptor solution. *J. Chromatogr. A*, *1398*, 11 (2015); <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.04.024> .
10. Šlampoová A., Kubáň P., Boček P.: Quantitative aspects of electrolysis in electromembrane extractions of acidic and basic analytes. *Anal. Chim. Acta* *887*, 92 (2015); <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.06.040> .
11. Šlampoová A., Kubáň P., Boček P.: Additional considerations on electrolysis in electromembrane extraction. *J. Chromatogr. A* *1429*, 364 (2016); <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.12.028> .
12. Kubáň P., Boček P.: Micro-electromembrane extraction across free liquid membranes. Instrumentation and basic principles. *J. Chromatogr. A* *1346*, 25 (2014); <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.04.047> .
13. Carrasco-Correa E. J., Kubáň P., Cocovi-Solberg D. J., Miró, M.: Fully Automated Electric-Field-Driven Liquid Phase Microextraction System with Renewable Organic Membrane As a Front End to High Performance Liquid Chromatography. *Anal. Chem.* *91*, 10808 (2019); <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b02453> .
14. Sahragard A., Dvořák M., Carrasco-Correa E. J., Varanusupakul P., Kubáň P., Miró M.: Programmable Millifluidic Platform Integrating Automatic Electromembrane Extraction Cleanup and In-Line Electrochemical Detection: A Proof of Concept. *ACS Sensors* *7*, 3161 (2022); <https://doi.org/10.1021/acssensors.2c01648> .
15. Sahragard A., Dvořák M., Pagan-Galbarro C., Carrasco-Correa E. J., Kubáň P., Miró M.: 3D-printed stereolithographic fluidic devices for automatic nonsupported

- microelectromembrane extraction and clean-up of wastewater samples. *Anal. Chim. Acta* 1297, 342362 (2024); <https://doi.org/10.1016/j.aca.2024.342362> .
16. Mikuška P., Alexa L., Cigánková H.: Nanočástice: hodnocení toxicity, zdravotní rizika a lékařské aplikace. *Chem. Listy* 119, 17 (2025); <https://doi.org/10.54779/chl20250017> .
 17. Dumková J., Vrlíková L., Večeřa Z., Putnová B., Dočekal B., Mikuška P., Fictum P., Hampl A., Buchtová M.: Inhaled Cadmium Oxide Nanoparticles: Their in Vivo Fate and Effect on Target Organs. *Int. J. Mol. Sci.* 17, 874 (2016); <https://doi.org/10.3390/ijms17060874> .
 18. Dumková J. a 16 spoluautorů: Variability in the Clearance of Lead Oxide Nanoparticles Is Associated with Alteration of Specific Membrane Transporters. *ACS Nano* 14, 3096 (2020); <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b08143> .
 19. Vysloužil J. a 10 spoluautorů: Subchronic continuous inhalation exposure to zinc oxide nanoparticles induces pulmonary cell response in mice. *J. Trace Elem. Med. Bio.* 61, 126511 (2020); <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2020.126511> .
 20. Rossner P. Jr. a 14 spoluautorů: Gene Expression and Epigenetic Changes in Mice Following Inhalation of Copper(II) Oxide Nanoparticles. *Nanomaterials* 10, 550 (2020); <https://doi.org/10.3390/nano10030550> .
 21. Lehotska Mikusova M. a 24 spoluautorů: Titanium Dioxide Nanoparticles Modulate Systemic Immune Response and Increase Levels of Reduced Glutathione in Mice after Seven-Week Inhalation. *Nanomaterials* 13, 767 (2023); <https://doi.org/10.3390/nano13040767> .
 22. Karásek P., Grym J., Roth M., Planeta J., Foret F.: Etching of glass microchips with supercritical water. *Lab Chip* 15, 311 (2015); <https://doi.org/10.1039/C4LC00843J> .
 23. Karásek P., Planeta J., Roth M.: Near- and Supercritical Water as a Diameter Manipulation and Surface Roughening Agent in Fused Silica Capillaries. *Anal. Chem.* 85, 327–333 (2013); <https://doi.org/10.1021/ac302849q> .
 24. Šlais K., Horká M., Karásek P., Planeta J., Roth M.: Isoelectric Focusing in Continuously Tapered Fused Silica Capillary Prepared by Etching with Supercritical Water. *Anal. Chem.* 85, 4296 (2013); <https://doi.org/10.1021/ac400295m> .
 25. Horká M., Šalplachta J., Karásek P., Růžička F., Štveráková D., Pantůček R., Roth M.: Rapid Isolation, Propagation, and Online Analysis of a Small Number of Therapeutic Staphylococcal Bacteriophages from a Complex Matrix. *ACS Infect. Diseases* 6, 2755 (2020); <https://doi.org/10.1021/acsinfecdis.0c00358> .
 26. Karásek P., Planeta J., Roth M.: Forming Homogeneous Three-Dimensional Structures from Discrete Silica Microspheres Using Sub/Supercritical Water. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 16, 42873 (2024); <https://doi.org/10.1021/acsnano.4c07251> .
 27. Musil S., Jeníková E., Vyhnanovský J., Sturgeon R. E.: Highly Efficient Photochemical Vapor Generation for Sensitive Determination of Iridium by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Anal. Chem.* 95, 3694 (2023).; <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.2c04660> .
 28. Musil S.: Speciační analýza arsenu založená na generování hydridů. *Chem Listy* 114, 374 (2020); <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/3616/3559> .

29. García-Figueroa A., Musil S., Matoušek T.: Non-chromatographic Speciation Analysis of Tellurium by HG-ICP–MS/MS at Sub ng L⁻¹ Concentration in Natural Waters Using TlIII as a Pre-Reducing Agent. *Anal. Chem.* **94**, 13995 (2022); <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.2c03280> .
30. Petry-Podgórska I., Schrenková V., Migašová M., Matoušek T., Kratzer J.: Speciation analysis of mercury employing volatile species generation: Approaches to reliable determination in blood and hair. *Microchem. J.* **170**, 106606 (2021); <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106606> .
31. García-Figueroa A., Filella M., Matoušek T.: Speciation of germanium in environmental water reference materials by hydride generation and cryotrapping in combination with ICP-MS/MS *Talanta* **225**, 121972 (2021); <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121972> .

Závěr

Vzhledem k množství vnitřních i vnějších faktorů, na kterých závisí budoucnost ústavu, jsou všechny odhady budoucího vývoje velmi špatně podmíněné a proto je zřejmě lépe se do nich nepouštět. Přidržíme se tedy jednoho už jistého aspektu budoucnosti ústavu. Význam chemické analýzy roste úměrně s množstvím chemických látek, které vstupují do našeho života. Ať již jde o zemědělství, potravinářství, medicínu, nebo ochranu životního prostředí, bez analytické chemie není další rozvoj ani přežití stále rostoucí lidské populace možný. Analytická chemie je nepostradatelnou součástí vývoje mnoha důležitých oblastí. Genetické analýzy (projekt sekvenování lidského genomu byl úspěšně zakončen díky kapilární elektroforéze, k jejímuž vývoji pracovníci ÚIACH významně přispěli), vývoj nových léčiv, klinické nebo environmentální analýzy, vždy vyžadovaly a budou i nadále vyžadovat vývoj nových analytických postupů a příslušné instrumentace. Výše v textu jsme se zmínili o založení nového oddělení jednomolekulových metod (SiMM), které zahájilo činnost dne 1. 4. 2026, tedy přesně v den 70. výročí založení Ústavu analytické chemie AV ČR. Je jisté, že nové výzkumné směry budou i v budoucnu přibývat ve výzkumného programu ÚIACH AV ČR.

Literatura o Ústavu analytické chemie AV ČR

Tento text pro svůj omezený rozsah samozřejmě nemůže poskytnout detailní přehled o všech aktivitách a výstupech Ústavu analytické chemie AV ČR v širokém historickém rozpětí. Proto zde uvádíme stručný přehled dalších zdrojů informací o našem ústavu. Vedle webových stránek (www.iach.cz, <https://www.facebook.com/people/%C3%9Astav-analytick%C3%A9-chemie-AV-%C4%8CR/61553145113429/>) jde zejména o propagační brožurky, které zájemcům poskytnou bližší představu o tom, na jaká témata byla vědecká činnost ústavu soustředěna v době vzniku příslušného materiálu. V tomto směru jsou zvláště informativní ročenky „Výzkum a vývoj v roce XXXX“, které jsme sestavovali v letech 2007–2016 z iniciativy tehdejší ředitelky ústavu, prof. RNDr. Ludmily Křivánkové, CSc. Vzdálenější historii ústavu přibližují další dokumenty:

Dvacet let vývoje Ústavu analytické chemie ČSAV v Brně. Ústav analytické chemie ČSAV v Brně, 1976. Dostupné i online přes Digitální knihovnu AV ČR (po přihlášení):

<https://kramerius.lib.cas.cz/view/uuid:b2eb6c92-c8b5-4a6b-8709-75d13ff33d27?page=uuid:f83d29e6-335e-48f6-8e06-b6891154e0fd>

Institute of Analytical Chemistry, Czechoslovak Academy of Sciences. A Booklet of data. Brno, Leninstreet 82, Czechoslovakia 66228, 1976.

Research Activities and Future Trends 1993 – 2003, Institute of Analytical Chemistry, Academy of Sciences of the Czech Republic, Brno 2003.

Výtisky výše uvedených historických informačních zdrojů jsou v omezeném množství dostupné v knihovně ústavu na adrese Veveří 97, 60200 Brno. Následující novější informační materiály jsou vesměs dostupné i v on-line verzích:

Křivánková, L. 60 let Ústavu analytické chemie. 60 let výzkumu. *Scientific American. České vydání*. 2016, - (duben), 24-35. ISSN 1213-7723, https://www.sciam.cz/files/pdf/2016/analyt_chemie_digi.pdf

Hrušková, H., Jonas, V., Killinger, M., Kocianová, V., Melicherová, N., Smolková, D., Weisová, J. Prezentace ústavu a představení Ph.D. studentů. *Vesmír*. 2023, 102(9), 496-497. ISSN 0042-4544. E-ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://hdl.handle.net/11104/0349521>

Alexa, L., Duša, F., Dvořák, M., Hlaváček, A., Kratzer, J., Křivánková, J., Kubáň, Pavel, Kubáň, Petr, Lavická, J., Matoušek, T., Mikuška, P., Příkryl, J., Týčová, A., Večeřa, Z., Weisová, J.: Ústav analytické chemie AV ČR. Vydalo Středisko společných činností AV ČR, v. v. i., Nakladatelství Academia, Edice Věda kolem nás, sv. 127. Praha 2023; <http://www.vedakolemнас.cz/sys/galerie-download/VKN-127.pdf> .

Alexa, L., Karásek, P., Kratzer, J., Křivánková, J., Kubáň, P., Kubáň, P., Mikuška, P., Musil, S., Týčová, A., Weisová, J., Roth, M.: Historie a současnost Ústavu analytické chemie Akademie věd České republiky. *Chem. Listy* 119, 294–302 (2025); <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/5005/4972> .

Drobníková, I. Věda v centru: Ústav analytické chemie AV ČR. *Zpravodaj městské části Brno-střed*. 2025, 34(5), 12-12. Dostupné z: <https://hdl.handle.net/11104/0366386>

Další zdroje informací budto pokrývají pouze určitou část činnosti ústavu, nebo jsou věnovány význačným osobnostem historie ústavu:

Janák, J. Separační metody v českých zemích. *Chemagazín*. 2005, 15(6), 24-26. ISSN 1210-7409.

Křivánková, L. *Brněnská elektroforetická škola*, *Chemické Listy*, 114(1), 10–16 (2020). <http://w.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/3521/3465>

Křivánková, L. *Celebrating the 65th birthday of Professor Petr Boček*. - *Electrophoresis* 27 [23] 4599-4600 (2006). 2006. <https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/elps.200690079> .

Křivánková, L. *85. narozeniny profesora Jaroslava Janáka*. *Akademický bulletin*. č.5. 2009. S. 21. ISSN 1210-9525. 2009; <http://abicko.avcr.cz/2009/05/08/index-2.html> .

Křivánková, L. *Professor Jaroslav Janák - Chromatographia* 71 [9/10] 745-746 (2010); <https://link.springer.com/article/10.1365/s10337-010-1603-0>.

Vobecký, M. 60 let Spektroskopické společnosti Jana Marka Marci. *Akademický bulletin AV ČR*. 2010, -(9), 28-30. ISSN 1210-9525; <http://abicko.avcr.cz/2010/09/11/index-2.html> .

Křivánková, L. Analytical chemistry. *Public service review*. 2011, -(22), 718-719. ISSN 1472-3395. Dostupné z: <http://edition.pagesuite-professional.co.uk/launch.aspx?referral=other&pnum=&refresh=MOj83N1cQa91&EID=82bcc1-b05f-46f9-b085-701afc238b42&skip=>

Foret, F. *Dedication to Petr Boček's 30 years of Service. Editorial. Electrophoresis*. Roč. 34, č. 2(2013), s. 2. ISSN 0173-0835. 2013. <https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/elps.201370015>

Šlais, K.: *Počátky vysokoúčinné kapalinové chromatografie v Brně*; Kapitola 12 v knize *Počátky a historie československé kapalinové chromatografie*; Editoři: L. Nováková, M. Douša, J. Havliš, P. Bednář, J. Pól; Svazek 2. edice *Historie instrumentálních technik*. Editoři edice: J. Pól, M. Volný. Česká společnost pro hmotnostní spektrometrii, Praha 2015. ISBN 978-80-905045-5-4; str. 214–237.

Klepač, V., Mikuška, P. *Studánky. Svedu vědu*. 2024, 24(9), 28-29.

Autor textu:

Doc. RNDr. Michal Roth, CSc.

Další zodpovědní přispěvatelé v abecedním pořadí:

Ing. Iveta Drobníková

Ing. František Foret, CSc., DSc.

PhDr. Denisa Gritzová

Mgr. Antonín Hlaváček, Ph.D.

Doc. RNDr. Petr Kubáň, Ph.D.

RNDr. Pavel Kubáň, Ph.D., DSc.

RNDr. Jan Kratzer, Ph.D.

Mgr. Jana Lavická, Ph.D.

RNDr. Pavel Mikuška, CSc.



První řada zleva:

Kudláčková B., Voráčová I., Strouhalová D., Weisová J., Šalplachta J., Karásek P., Kubáň P., Duša F.,
Dadajová P., Maďarová Z., Lačná J., Badin J., Volánek J.

Druhá řada zleva:

Novotný M., Musálková M., Škvrnová J., Coufalík P., Moravcová D., Štátná M., Gritzová D., Uhrová K.,
Hlaváčková H., Mikuška P., Šlampová A., Malá Z., Dvořák M., Laštovičková M., Alexa L., Řemínek R.,
Příkryl J.

Třetí řada zleva:

Poláčková L., Bušová D., Pražáková Ž., Vytásková L., Pavelka V., Svojanovská L., Javorek M., Křůmal K.,
Planeta J., Hlaváček A., Šesták J., Drobníková I., Kahle V., Gebauer P., Lavická J., Kubáň P., Novotný J.,
Klíma A., Čmelík R., Foret F.

(fotografie z 26. 5. 2026)

Ústav analytické chemie
Akademie věd České republiky
Veveří 97, 602 00 Brno
tel. 532 290 182
uiach@iach.cz
www.iach.cz