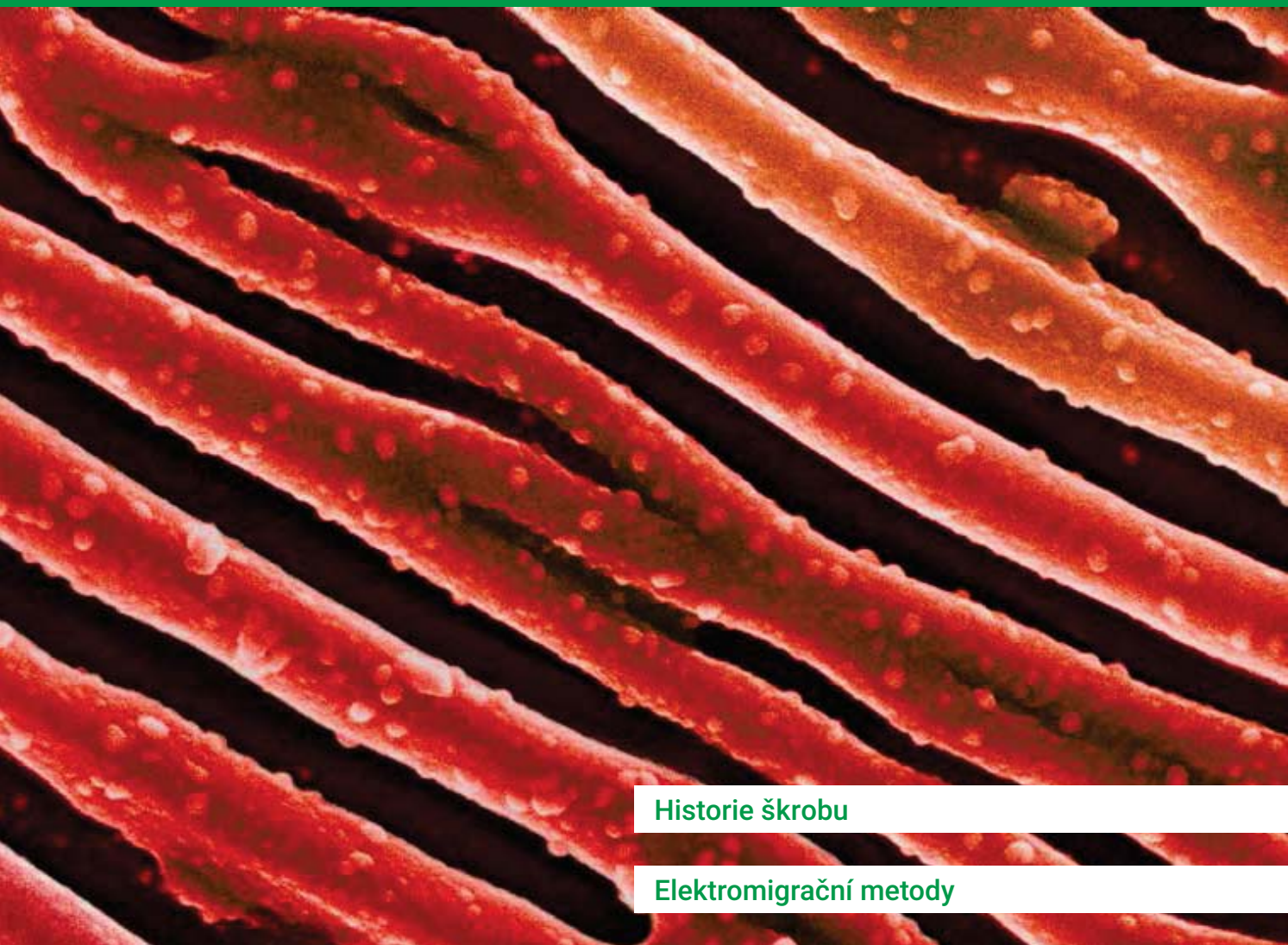


# Chemické Listy



# 3

ročník • 120



Historie škrobu

Elektromigrační metody

Obsahové látky barvínku menšího

Elektroforetické stanovení bromidů

Bezpečnost železniční přepravy nebezpečných věcí



150  
1876 - 2026

# European Chemical Societies Publishing



## Chemistry Europe

- 16 chemických společností
- z 15 zemí Evropy
- které spoluvlastní 21 vědeckých časopisů
- ze kterých si čtenáři stáhli v roce 2024 přes 22,9 milionů článků
- od roku 1995 bylo publikováno v rámci CE přes 140 000 článků
- Chemistry Europe vyznamenalo 150 vědců titulem Fellow a 8 titulem Honorary Fellow za jejich vynikající výsledky v chemických oborech

[www.chemistry-europe.org](http://www.chemistry-europe.org)

Analysis & Sensing

Analytical Science Advances 

Batteries & Supercaps

ChemBioChem

ChemCatChem

ChemElectroChem 

ChemFoodChem 

ChemistryEurope 

Chemistry - A European Journal

Chemistry - Methods 

ChemistryOpen 

ChemistrySelect

ChemMedChem

ChemPhotoChem

ChemPhysChem

ChemPlusChem

ChemSusChem

ChemSystemsChem

Electrochemical Science Advances 

European Journal of Inorganic Chemistry

European Journal of Organic Chemistry

 Open Access

## Vážme si času

Čas je pojem, který zná snad každý člověk na Zemi. Čas je také jedním z nejcennějších zdrojů, které na této planetě máme. Na rozdíl od mnoha jiných zdrojů je čas neobnovitelný. Neexistuje chvíle, kdy nám čas dojde a kdy bychom jej mohli doplnit s použitím nějakých alternativních technologií. Čas se prostě nedá vyrobit. Když uplyne, je pryč a nelze jej vrátit zpět. Má svůj význam filozofický a fyzikální. Z filozofického hlediska víme, že čas existuje, protože se odehrávají události v chronologickém pořadí. Podle fyzikální definice je čas nepřetržitý průběh existence, který probíhá v zdánlivě nezvratném sledu od minulosti přes přítomnost do budoucnosti. Podle Isaaca Newtona absolutní čas existoval nezávisle na jakémkoli pozorovateli a postupoval konzistentním tempem v celém vesmíru. Ernst Mach tvrdil, že čas není absolutní a mezi časem a hmotou existuje relativní vztah. Dokládá to tím, že pokud by veškerá hmota ve vesmíru zmizela, čas by sám přestal existovat. Albert Einstein rovněž navrhl, že čas není absolutní, ale relativní veličinou v závislosti na rychlosti pohybu, čímž zpochybnil tradiční představy o simultánnosti času.

Počátek času je nejčastěji spojován s Velkým třeskem, který se podle nejnovějších odhadů odehrál před 13,787 miliardami let. Při něm podle standardního modelu kosmologie vznikl čas i prostor. Stephen Hawking navrhuje tři „směry času“. První je termodynamický. Je to podle něj směr, ve kterém roste entropie. To ukazuje na příkladu, proč nikdy nevidíme, jak se kousky rozbitého hrnečku samy spojí a vytvoří zpátky celý hrneček. Druhý je psychologický směr času, kdy náš subjektivní vjem času plyne jedním směrem. Proto si pamatujeme minulost a neznáme budoucnost. Třetí je pak kosmologický. Je to směr, ve kterém se vesmír rozpíná, místo aby se smršťoval. Hawking také tvrdí, že psychologický směr je propletený s termodynamickým. Rovněž podle něj platí, že kdyby docházelo ke smršťování vesmíru, termodynamický a kosmologický směr času by nebyly v souladu.

Z fyzikálního hlediska tedy víme, že čas existuje, protože jej měříme. Dodnes používaná šedesátisekundová minuta a šedesátiminutová hodina pocházejí z babylónského číselného systému, který měl za základ číslo 60. Byl používán pro astronomii a měření času už kolem roku 4200 před našim letopočtem. Babylóňané zavedli sedmidenní týden, rozdělili den na 24 stejných částí (později hodin) a následně hodiny na 60 minut a minuty na 60 sekund. Jiné civilizace vyvinuly své vlastní časové systémy. Číňané například přišli s dvanáctiměsíčním rokem. Zajímavé je, že Velká francouzská revoluce na konci 18. století krátce experimentovala s dekadickým časovým systémem, známým jako Francouzský revoluční kalendář, který by dobře zapadal do dnes používaného metrického systému SI jednotek. Revoluční kalendář však byl záhy opuštěn, protože nebyl konzistentní s jinými obory, jako je např. astronomie. Nicméně, poslední století zavedlo do měření času

dichotomii. Zatímco po tisíciletí celosvětově používaný systém 24/60/60 se nemění, pro zlomky sekund jsme přešli na dekadický systém a jednotky, jako je mikrosekunda, nanosekunda atd.

Čas se měří hodinami. Starověké civilizace používaly k rozdělení dne málo přesné sluneční a stínové hodiny. Jinými zařízeními na měření času byly i vodní a přesýpací hodiny či hořící svíčky. Mechanické hodiny používající nucené pohyby kyvadla představovaly významný průlom. Zřejmě první kyvadlové věžní hodiny navrhl a sestrojil Henry de Vick kolem roku 1360 ve Štrasburku. Ty pak určily základní konstrukci hodin na dalších 300 let. Během doby došlo k menším vylepšením, jako byl například vynález oscilátoru z pružiny na počátku 15. století, který poprvé umožnil výrobu menších hodin. Ty však nebyly příliš přesné. První hodinky s ciferníky, které ukazovaly minuty a sekundy, se staly běžnými poté, co se použila vlasová pružina nebo spirála. Vynalezena nezávisle na sobě Christiaanem Huygensem a Robertem Hookem v roce 1675, vlasová pružina umožnila oscilacím vyvažovacího kola mít pevnou frekvenci. Tento vynález rovněž vedl k velkému pokroku v přesnosti. Na počátku 20. století se začaly vyrábět malé hodinky, které byly snadno přenosné. Uvádí se, že francouzský hodinář Louis-François Cartier vyrobil první náramkové hodinky v roce 1904.

SI jednotkou času je sekunda (s). Podle její definice z roku 1832 byla 1 s rovna 1/86 400 dne. Délka dne se ale mění. Proto v roce 1960 byla sekunda definována jako 1/31 556 925,9747 doby oběhu Země kolem Slunce, která doba je stabilnější. Hodiny používající křemenný krystal jako oscilátor byly představeny v roce 1927 a definovaly přesnost až do poloviny padesátých let minulého století. Atomové hodiny sestavené v šedesátých letech minulého století a využívající stabilní izotop cesia <sup>133</sup>Cs jsou dnes vysoce přesnými časoměrnými přístroji v praktickém použití. Od roku 1967 je tedy s jejich pomocí 1 s definována jako doba trvání 9 192 631 770 period záření odpovídající hyperjemnému přechodu mezi dvěma hyperjemnými úrovněmi základního stavu izotopu cesia <sup>133</sup>Cs. Nejpřesnější jsou však dnes optické mřížkové hodiny existující pouze v několika exemplářích a sestavené poprvé v roce 2003, které využívají atomy ytterbia při teplotě velmi blízké absolutní nule. Ty jsou už natolik přesné, že definování sekundy s jejich pomocí se ukazuje jako velmi obtížné a bylo odloženo do příštího desetiletí.

Protože čas plyne pouze vpřed, měli bychom si být více vědomi jeho vlivu i na vědu, kterou děláme. V naší chemii to zahrnuje například hledání rychlejších reakcí a zahrnutí toho, jak využíváme a oceňujeme čas a jeho výsledky. S tím nepochybně souvisí i time management. S časem nemůžeme zacházet jako s něčím, co lze recyklovat, a je ve skutečnosti omezujícím „čínidlem“. Proto je nutné být opatrnější s jeho využíváním.

Produktivita práce je poměr mezi množstvím vykonané práce a časem, který na ni byl vynaložen. Ve výrobě je

možné snadno určit tuto veličinu třeba počtem výrobků vyprodukovaných za jednotku času. Jak je to ale ve vědě? Jistě je možné třeba určit počet analýz provedených za hodinu. Jak ale přistoupit k produktivitě, když syntetizujeme novou látku?

V naší československé minulosti nebyl čas ve vědě něčím, co bylo příliš zdůrazňováno. Zásobování věcmi potřebnými k experimentování bylo zdlouhavé, zejména byly-li z dovozu. To vedlo k tomu, že naši kreativní vědci si spoustu věcí dělali „na koleně“. Dnes už to neplatí. Nicméně jistý relikt se zachoval v naší DNA dodnes. Nic proti vlastní tvorbě zcela nových produktů či zařízení. Pořád se však ještě setkávám s domácí „výrobou“ věcí, které lze snadno koupit a mnohdy i v lepší a stabilní kvalitě. Pak je nutné připomenout, že člověk a jeho práce bývá často nejdrahoccennější složkou celého procesu, což si ve vědě mnohdy neuvědomujeme. Pokud tedy například příprava plněných pipetových špiček pro extrakci tuhou fází zabere více času než jejich nákup, je dobré zvážit náklady vzácného času oproti nákupní ceně.

V loňském roce jsem se v úvodníku osmého čísla Chemických listů věnoval mnohdy špatné reprodukovatelnosti vědeckých experimentů. Popsal jsem mnohé zdroje, v nichž lze pro to hledat důvody. Ačkoliv jsem čas explicitně nejmenoval, určitě mezi takové patří. Vzpomeňme například na známý, ale zcela vágní, a přitom běžně užívaný pojem

„... necháme reagovat přes noc“. Jak definujeme čas „přes noc“? Je to od chvíle, kdy se setmí, do ranního rozbřesku (záviselo by na ročním období), nebo od chvíle, kdy opustím laboratoř, do chvíle, kdy se k reakci příští den vrátím (záviselo by na délce mého spánku), anebo to snad zahrnuje nějaký specifický počet hodin? Přitom k dosažení požadované konverze by mohlo stačit i jen několik málo hodin či dokonce minut a nemuselo by se časem plýtvat.

V posledních letech se často oháníme pojmem „zelená chemie“. Ta kromě jiných faktorů zahrnuje navrhování chemických produktů a procesů za účelem snížení nebo eliminace nebezpečných látek. Řeší též otázku času, a to hned různými způsoby: zkracováním reakčních dob pro vyšší energetickou účinnost, průběžným monitorováním reakcí v reálném čase a udržitelností s cílem minimalizovat časově související environmentální zátěž. I zde se dá nalézt řada úspor.

Je tedy třeba si neustále připomínat, že čas nelze obrátit. Když je pryč, je pryč navždy. Neexistují žádné způsoby, které by ho mohly dostat zpět. Ty jsou k dispozici jen ve sci-fi literatuře a filmech jako třeba ve známém americkém kultovním filmu z roku 1985 „Návrat do budoucnosti“ či v nedávném českém „Probudím se včera“. Važme si proto času.

František Švec



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

## HISTORIE ŠKROBU, POTAŽMO V ČESKÝCH ZEMÍCH, A VÝUKA TECHNOLOGIE JEHO VÝROBY NA VŠCHT PRAHA

PAVEL DRAŠAR<sup>a</sup> a EVŽEN ŠÁRKA<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Ústav chemie přírodních látek, <sup>b</sup> Ústav sacharidů a cereálií, Vysoká škola chemicko-technologická, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika  
drasarp@vscht.cz; sarkae@vscht.cz

Došlo 18.12.25, přijato 11.1.26.

Článek přináší stručný náhled do historie výroby škrobu a výuky technologie jeho výroby na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze.

Klíčová slova: škrob, historie výroby, výuka na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze



Obr. 1.

### Mezinárodní a historické souvislosti

Škrob používali naši předkové již od nepaměti, jsou dokumentovány a diskutovány nálezy tisíce let staré<sup>1,2</sup>. Škrob byl získáván z obilných zrn již ve starém Egyptě (3500 př. Kr.) – sloužil k zasypávání ran, ke kosmetickým účelům (pudrování), tak i ke slepování pruhů papýru a k vyhlazování jeho povrchu. To se využívalo později při výrobě papíru také ve starověké Číně<sup>3</sup>. Staří Řekové vyráběli na jejich dobu mimořádně brnění na způsob flexibilního mnohavrstvého

laminátu zvaného linothorax<sup>4</sup>, kdy slepovali jednotlivé vrstvy lněné tkaniny škrobovým mazem. Abu Mansur Muwaffaq ibn Ali al-Harawi, učitel a učenec zabývající se léčivou, ve svém díle z let 968–977 *Book of the Remedies* (*Kitab al-Abniya 'an Haqa'iq al-Adwiya*, كتاب الابنيه عن حقائق الادويه) psal o použití směsi slin a škrobu k přípravě „umělého medu“ používaného k ošetření ran.

V Orientě byl využíván po více než 2000 let škrob kuzu (kudzu, 葛粉)<sup>5</sup> z *Puerarie Thunbergovy* (*Pueraria montana* var. *lobata*), vytrvalé rostliny původem z Japonska a Číny, z čeledi bobovité<sup>6</sup>, zejména k potravinářským účelům. Čínské záznamy hovoří o sušení a využití kořenů kuzu pro léčebné účely již v roce 1578. Vlákno kuzu z vinné révy a stonků se od roku 1665 používalo k výrobě „travní“ látky a papíru. Během 18. století se kuzu dováželo do Japonska, kde se kořeny mlely na mouku, ze které byl vyráběn škrob. V rovníkovém pásu Země byl po tisíciletí škrob získáván z kořenů (oddenků) tropické rostliny *Maranta arundinacea* L. (maranta třtinovitá).

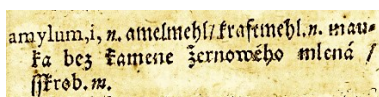
První písemnou zmínku o přípravě škrobu z našeho kulturního světa můžeme vidět ve fragmentu manuskriptu řeckého lékaře, Dieuchese (Διεύχης), ze 4. století př. Kr., který se zachoval, jako součást obsažného díla Orbasia (Ορειβάσιος, 310–403 n.l.) *Ιατρικαὶ Συναγωγαί*, Lékařské sbírky (později publikované v latinském překladu jako *Collectiones medicae*). Tato díla, převážně ztracená, nám však může přiblížit filologická analýza K.-D. Fischera<sup>8</sup>. Fischer Dieuchese cituje: *Produkty sedimentace, jako je škrob (ἀμύλιον), lze vyrobit ze všech semen. Škrob se vyrábí takto: Vezměte nejjemnější pšeničnou mouku, lehce ji navlhčete, properte a scedte přes kus lněné látky s maximálním množstvím vody a zbavte ji většiny lepkavých částí. Poté ji nechte usadit v hliněné nádobě, vodu vylijte a stejným způsobem přidejte další vodu a opakujte, dokud se scezená voda nestane čirou; poté vezměte to, co se usadilo na dně, a dejte to na slunce do hliněné nádoby, dokud úplně nevyschne.*



Obr. 2. Příprava škrobu dle sbírky *Ortus sanitatis* z roku 1497 (cit.<sup>7</sup>)

Řecký výraz amulon (z toho latinské amyllum, též amilum, amidum) pochází negací z výrazu mulon (μύλον) pro mlýn, z čehož plyne, že Řekové škrob vyráběli, aniž semena mleli<sup>9</sup>.

Další popisy izolace škrobu přinášejí přírodovědec Plinius starší (Gaius Plinius Secundus, 23–79 n.l., v díle *Naturalis Historia*<sup>11</sup> (Přírodopis)), řecký lékař, lékárník a botanik Pedanius Dioscorides (Πεδάνιος Διοσκοουρίδης, 40–90 n.l.) v lékopise *De materia medica* (Περὶ ὕλης ἰατρικῆς) a filozof

Obr. 3. Amylum (cit.<sup>10</sup>)

a lékař Galén z Pergamu (Claudius Galenus, 129–200 n.l.), kteří uvádějí prakticky stejný postup, který pro nás přiblížil Everett<sup>12</sup>, stejně jako Cato starší (234–149 př. Kr.) ve spise De agri cultura (O zemědělství)<sup>13</sup>. Škrob nazývá Amulum, z čehož plyne, že čerpal z řeckých zdrojů, používajících termín ἄμυλον, který byl romanizován na amylon.

Škrob byl později nazýván „amylum“ (moučka). Ve 14. století bylo známo použití škrobu ke škrobení prádla<sup>14</sup>, což mělo dva efekty, škrobené prádlo bylo po vyžehlení hezky hladké; druhým efektem bylo, že při žehlení se polysacharidy škrobu částečně rozložily na ve vodě rozpustné fragmenty (řekněme oligosacharidy) a špína z textilií byla při praní s těmito fragmenty snadno přenesena do vodního prostředí, byť by byly i lipofilní. V polovině 16. století se různobarevné škroby používaly i pro kosmetické účely, zatímco nebarvený škrob se používal k pudrování vlasů.

Továrny výroby škrobu z brambor prvně patentoval Samuel Newton a tři spoluautoři v roce 1717 (cit.<sup>15</sup>). V roce 1719 Antonie Philips van Leeuwenhoek studoval škrobová zrna vlastnoručně vyrobeným mikroskopem<sup>16</sup>. V roce 1739 byla v Anglii povolena výroba bramborového škrobu, aby se uchovalo obilí pro potraviny v souvislosti s válkou se Španělskem<sup>17</sup>. V roce 1744 byla publikována Univerzální encyklopedie současnosti a minulosti<sup>18</sup>, která mj. popisuje v několika heslech i škrob.

V polovině 18. století byli hlavní producenti škrobu na území dnešního Německa, Holandska, Polska, Ruska, Francie a Česka. První bramborová škrobárna v Evropě byla založena v letech 1838/1839 v Halle (Kröll-Stärkefabrik)<sup>19</sup> jako logický důsledek toho, že pruský král Bedřich II. Veliký kolem roku 1740 prosadil brambory jako základní potravinu kvůli hrozbě hladomoru. Škrobová



Obr. 4. Proklamace Karla II. Suarta z roku 1661 o výrobě škrobu

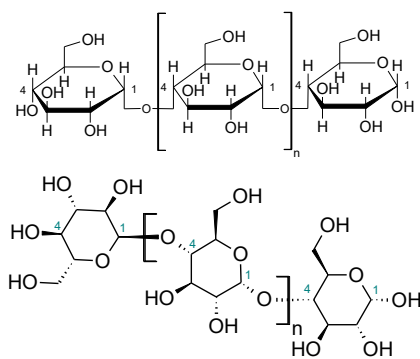
lepidla se používala od roku 1770 a např. prvé britské známky měly jako lepidlo škrob<sup>20</sup>, do škrobového mazu se někdy přidával pro zlepšení adhezních vlastností ocet<sup>21</sup>.

Vývoj v USA zaznamenává Tuckerova Bramborová chronologie<sup>22</sup>. Zde v roce 1802 získává John Biddes americký patent na výrobu škrobu z brambor<sup>23</sup>. Ve Spojených státech, které dnes dominují výrobě škrobu, byla první škrobárna na výrobu pšeničného škrobu postavena v roce 1807 v Utice (New York)<sup>24</sup>. Manufaktura na výrobu rýžového škrobu v USA byla postavena v roce 1815 a v roce 1820 vznikla první bramborová škrobárna v New Hampshire (Hillsborough County)<sup>24</sup>, zřejmě z iniciativy lékaře a vynálezce Samuela Guthrie<sup>25</sup>. Uplynulo jen několik desítek let a řada amerických škrobáren byla přestavěna na výrobu kukuřičného škrobu, který je dnes světově nejrozšířenější. V roce 1880 ve Spojených státech existovalo 140 škrobáren na výrobu kukuřičného, pšeničného, bramborového a rýžového škrobu.

Po chemické stránce škrob obsahuje dva  $\alpha$ -D-glukany – lineární amylosu s  $\alpha$ -(1→4) glykosidovými vazbami a větvený amylopektin obsahující  $\alpha$ -(1→4) a  $\alpha$ -(1→6) vazby. Obdivuhodné je, že se vědci zabývali reaktivitou škrobu již v první polovině 19. století, aniž byla známa chemická struktura škrobu či glukosy. V 18. století francouzský fyzik Pierre-Simon Laplace řekl Napoleonovi: „Jsou tři látky o téměř základním principu: arabská guma, škrob a cukr; rozeznávají se od sebe jen jistými náležitostmi, které jsou nám dosud neznámé“<sup>26</sup>. Jak dále píše Vilíkovský, „náhled o nestejnorodosti přirozeného škrobu“ je dost starý; počátkem 19. století se o něm zmiňuje švýcarský chemik a přírodovědec Nicolas-Théodore de Saussure a řada dalších. Souhlasně uznávali, že škrob se skládá z jedné látky rozpustné, kterou pojmenovali postupně amidina, amidona, granulosa a amylosa rozpustná, ve sdržení s jakousi látkou nerozpustnou, označenou jmény: amidin, tegument, amylocelulosa, amylosa nerozpustná, a škrob<sup>27</sup>.

Správné pochopení chemického složení a struktury glukosy významně přispělo k obecnému pokroku v organické chemii, již před rokem 1880 byl aldehydový vzorec glukosy znám; Hermann Emil Fischer ho ověřil řadou transformací<sup>28</sup>. Na přelomu 19. a 20. století Bernhard Christian Gottfried Tollens odhalil vznik poloacetalové vazby v glukosové molekule, později převedl Norman Haworth Tollensovy vzorce na jednoduché znázornění trojrozměrné struktury. John A. Mills zavedl<sup>29</sup> v roce 1955 strukturální vzorec sacharidů (vždy níže), které umí přechíst počítač, což u Haworthových (vždy výše) ani Fischeryových či Tollensových vzorců není možné<sup>30</sup>.

Justus von Liebig (1829) působil na škrob chlorem a zjistil u oxidovaného škrobu značnou změnu vlastností, umožňující použití produktů oxidace jako zahušťovadla, stabilizátoru a filmotvorné látky použitelné v technologii potravin, papíru a textilií. Wiktor Syniewski popsal oxidaci škrobu peroxidem sodíku<sup>31</sup> a Casimir Wurster peroxidem vodíku<sup>32</sup>, při hledání možností zlepšení rozpustnosti ve vodě. Alexanderu Classenovi se podařilo zesíťovat škrob formaldehydem a připravit amyloform, předpoklá-

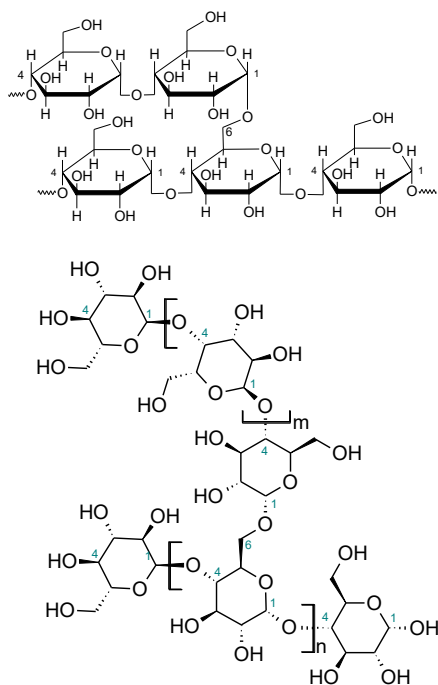


Obr. 5. Strukturální vzorec amylosy

danou náhradu desinfekčního prostředku jodoformu<sup>33</sup>.

Průmyslová výroba škrobu se začala intenzivně rozvíjet v 19. století. Gotlieb Sigismund Constantin Kirchof (adjunkt a posléze i mimořádný člen Petrohradské Ruské Akademie věd) v roce 1811 popsal výrobu škrobového (=glukosového) sirupu hydrolyzou pomocí kyseliny sírové. V roce 1812 byla postavena první sirupárna v Jaroslavské gubernii. Tento výzkum byl reakcí na uzavření evropské pevniny Napoleonem pro dovoz cukru v roce 1806. První americká výroba glukosových sirupů byla postavena v roce 1831 v Sacket Harboru (New York)<sup>24</sup>. V roce 1876 Německo již mělo 47 závodů na glukosové sirupy.

K zásadnímu nárůstu výroby kukuřičného škrobu v USA došlo po 2. světové válce vzhledem k produkci



Obr. 6. Strukturální vzorec amylopektinu

enzymově vyráběných glukoso-fruktosových sirupů a později díky geneticky modifikovaným odrůdám kukuřice, které vykazují vysokou odolnost vůči nepříznivým povětrnostním podmínkám a mají vysoký výnos. Zvýšená efektivita pěstování se promítla do nízké ceny vstupní suroviny.

Důležitým evropským časopisem v oblasti chemie a technologie škrobu je německý Starch/Stärke. Ve světě lze publikovat články související se škrobem také mj. v časopisech Foods či Carbohydrate Polymers. Významnou učebnicí o různých průmyslově vyráběných škrobech je Starch: Chemistry and Technology<sup>34</sup>. Z historických učebnic má zvláštní význam kniha Methods in Carbohydrate Chemistry<sup>35</sup>, která shrnuje celou řadu analytických metod týkajících se škrobu a jeho derivátů.

### Výroba škrobu v českých zemích

V českých zemích se škrob (též zvaný krochmál<sup>36</sup> či krochmel<sup>37</sup>, z něm. Kraftmehl) nejprve izoloval z pšenice na zemědělských usedlostech, ale vyráběl se i po domácku<sup>38</sup>. Vilíkovský<sup>26</sup> udává, že se škrob v Praze prodával již roku 1595. Vznikaly malé zemědělské škrobárny, které produkovaly vlhký škrob. Na Moravě se již v 18. století vyráběl pšeničný škrob, ze kterého se od roku 1751 platila zvláštní daň (nesušený, obsahující ca. 33 % vody<sup>39</sup>). Rolník si jej mohl připravit jen pro vlastní potřebu, jinak to bylo zakázáno<sup>40</sup>. Etnografický atlas Čech, Moravy a Slezska uvádí, že v letech 1752–1756 vyrábělo osm škrobařů (Stärkemacher) v Kutné Hoře 150 centů pšeničného škrobu ročně a že jim škodila konkurence Židů z Malína<sup>41</sup>. Škrob od počátku průmyslové výroby nacházel využití nejen v potravinářství, ale i v textilním průmyslu.

Zelenka a spol. uvádějí<sup>42</sup>, bez uvedení místa, že první větší továrna na izolaci bramborového škrobu byla založena českým zemědělským odborníkem, správcem statků v povltavské oblasti<sup>43</sup>, Bedřichem Krupičkou roku 1810, přestože údaj přebírá bezpočet dalších autorů, se jej nepodařilo ověřit. Nezmiňuje se o ní ani přehled Vilíkovského<sup>26</sup>, ten vidí první industriální škrobárnu až v roce 1893 péčí rodiny Vonků<sup>44</sup> v Německém Brodě (dnes Havlíčkův Brod). Vilíkovský jinde uvádí<sup>45</sup>, že první větší závod byl péčí c. k. komořího a rytíře Karla Antona von Dalberga vystavěn v roce 1813 v Českém Rudolci, protože se koncem 18. století na Českomoravské vrchovině soustředila výroba lihu a škrobu<sup>46,47</sup>, neb se zde ujal pěstování brambor<sup>48</sup>. V roce 1829 bylo na Moravě a ve Slezsku již 39 výrobců škrobu. Před 1. světovou válkou u nás bylo v provozu 186 tzv. selských škrobáren (90 % produkce tehdejšího Rakousko-Uherska) s průměrným denním zpracováním brambor 20 t, 70 % škrobu se exportovalo, např. do Anglie, Itálie, Španělska, Dánska, USA a Mexika. V té době u nás pracovaly i dva závody na zpracování rýže. První továrny výroby dextrinu (částečně hydrolyzovaného škrobu, používaného jako zahušťovadlo, pojivo, emulgátor a zdroj energie ve sportovní výživě) v českých zemích byla v Praze a Mladé Boleslavi (1845). Po poklesu výroby javorového cukru<sup>49</sup> se v českých zemích začala rozmáhat

výroba syrobu (škrobového hydrolyzátu), zřejmě první byl závod lékárníka Václava Doušy v Broumově<sup>26</sup>, posléze vzniklo do války ještě 13 závodů.

Koncem 19. století vniklo do výroby škrobu družstevnictví, a tak například roku 1879 byla na družstvo přeměněna Společná rolnická továrna na důstavky škrobové v Novém Městě nad Metují. Avšak teprve po roce 1908 dochází k rozmachu družstevních škrobáren (Horažďovice, Šicndorf (dnes Střelecká), Bělá pod Bezdězem aj.<sup>26</sup>. Začátkem 20. století vidí pak Vilíkovský dvě největší škrobárny rolnické Dextra a Amylon. Továrna Dextra po znárodnění přešla pod Amylon<sup>50</sup>.

V roce 1907 uvádí Zeměpis tržební<sup>51</sup>: Škrobařství souvisící rovněž těsně s polním hospodářstvím. Dříve se zpracovávala pšenice, nyní i brambory, rýže, kukuřice, proso atd. Surový bramborový škrob vyrábějí hlavně menší závody ve spojení s hospodářstvím (u nás zvláště na Českomoravské vysočině). Větší závody vyrábějí i jiné druhy a mimo to umělé klovatiny, dextrin, cukr hroznový, sirup a ságo (např. v Polné, Pelhřimově, Hostinném, Novém Městě n. M., Křinci, Nové Pace, Žďáře, Rjece atd.). Domácí výroba trpěla německou konkurencí.

V roce 1913 byl založen Spolek českomoravských továrníků škrobu<sup>26</sup>. Na Slovensku vzniklo před 1. světovou válkou 16 škrobáren. Na Podkarpatské Rusi pak žádná.



Obr. 7. Továrna Dextra a její předchůdce Žabí mlýn v dnešním Havlíčkově Brodě z roku 1860



Obr. 8. Škrobárna ve Velkém Meziříčí z roku 1916 (cit.<sup>26</sup>)

Před první světovou válkou bylo v Čechách, na Moravě a ve Slezsku 279 závodů škrobařských, které zaměstnávaly přes 900 pracovníků.

Vysoký podíl českých zemí na světové produkci škrobu však postupně klesal, na tomto poklesu se podílely jak světové války se ztrátou odbytišť, tak veškeré brambory za války sloužily jako potravina a výroba sirupů byla za 1. světové války zakázána. Po 2. světové válce, za tzv. socialismu, rozvoj škrobárenského odvětví významně zpomalil. V roce 1948 byly znárodněny všechny škrobárny a postupně začleňovány do větších národních podniků<sup>19</sup>. V roce 1953 byl zřízen národní podnik Jihočeské škrobárny Pelhřimov, který byl v roce 1958 sloučen s firmou Horácké škrobárny v Havlíčkově Brodě, Brněnskými škrobárnami, Slezskými škrobárnami a vznikla firma Škrobárny, oborový podnik, Havlíčkův Brod.

Relativně poklidný vývoj škrobařství v České republice zásadním způsobem změnila 90. léta minulého století a následně vstup České republiky do EU. V první kampani poté, tzn. v roce 2004, bylo podle údajů Českého škrobárenského svazu v tuzemských škrobárenských závodech vyrobeno celkem 33 644 t bramborového škrobu při průměrné škrobnatosti brambor 20,1 %. Produkce škrobu byla prakticky na úrovni stanovené národní kvóty pro ČR. V té době pracovaly čtyři závody: Lyckeby Amylex (Horažďovice), Škrobárny Pelhřimov (provozy Pelhřimov a Chýnov) a dnes již neexistující Amylex Radešínská Svratka (Hodíškov) a Naturamyl (Hamry). Po ukončení systému kvót pro výrobu bramborového škrobu po roce 2011 dosahovala výroba v Česku špičkově až 49 tis. t, a to konkrétně v roce 2021.

Podniky	malé družst.	malé ostatní	střední družst.	střední ostatní	velké družst.	velké ostatní	celkem družst.	celkem ostatní
Čechy	3	58	1	12	2	14	6	84
Morava	7	11	—	7	—	2	7	20
Slezsko	—	1	—	—	—	1	—	2
Slovensko	—	1	—	3	—	13	—	17
Celkem							13	123

Obr. 9. Škrobařské závody po vzniku ČSR

**Výroba škrobu rýžového, pšeničného a zemákového.**  
(Obsahuje závody platící nejméně 10'50 zl. r. č. daně živnostní.)

1 Politické okresy	2 3 Závody		4 5 6 7 Z těchto závodů (sl. B.) užívají motorů hnaných				8 9 Počet koňských sil		10 11 Počet dělníků		12 13 14 15 Obnos produkce v zlatých r. č.			
	všech	a motorů	větrem	vodou	parou	jinými silami	všech	průměrně na jeden závod	všech	průměrně na jeden závod	všech	průměrně na		
												jednu závod	jednu dělníka	jednu koňskou sílu
Karlín . . .	1	1	.	.	1	.	80	80	44	44	156.000	156.000	3.545.4	1.950
Poděbrady . . .	1	1	.	.	1	.	12	12	10	10	38.000	38.000	3.800	3.166.6
Čáslav . . .	1	1	.	.	1	.	25	25	13	13	59.760	59.760	4.596.9	2.390.4
Ledeč . . .	2	2	.	.	1	1	14	7	17	8.5	56.500	28.250	3.323.5	4.035.7
Chotěboř . . .	1	1	.	1	.	.	8	8	18	18	20.000	20.000	1.111.1	2.500
Něm. Brod . . .	2	2	.	1	2	.	20	10	28	14	42.900	21.450	1.532.1	2.145
<i>všech . . .</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>.</i>	<i>2</i>	<i>6</i>	<i>1</i>	<i>159</i>	<i>19.8</i>	<i>130</i>	<i>16.2</i>	<i>373.160</i>	<i>16.645</i>	<i>2.870.4</i>	<i>2.346.9</i>

Obr. 10. Výroba škrobu v roce 1885 (cit.<sup>52</sup>)

Pšeničný škrob se dnes produkuje v Amylonu (zal. 1913, dnes Havlíkův Brod) a MJM agro (Krnov). Ročně se vyrobí cca 18 tis. t pšeničného škrobu. Tento škrob se buď prodává samostatně pro další průmyslové zpracování, nebo se přepracovává přímo u výrobců na maltodextrin, sirupy, popř. modifikované pšeničné škroby. Vedlejším výrobkem při výrobě pšeničného škrobu je pšeničný lepek<sup>53</sup>.

### Historie výuky technologie škrobu v českých zemích

Výuka základů technologie škrobu se na českých vysokých školách vyvíjela společně s výukou technologie cukru<sup>54</sup>. Byla zahájena již na Českém polytechnickém institutu v Praze, později c. k. České vysoké škole technické v Praze na Chemickém ústavu, od roku 1920 pokračovala na Vysoké škole chemicko-technologického inženýrství VŠCHT, která byla součástí Českého vysokého učení technického ČVUT v Praze a od roku 1952 na samostatné VŠCHT v Praze. S oborem technologie cukru a škrobu jsou historicky spojeny tyto osobnosti, významné i z hlediska mezinárodního:



Asistent při stolici chemie a pozdější profesor (1835) Karel Napoleon Balling (1805–1868), nositel čestného titulu velmistr zymotechnie („kvasné chemie“) v Evropě, císařské velké zlaté medaile pro vědy a umění a rytíř-

ského řádu Františka Josefa, celoživotní propagátor spojení vědy s průmyslem, který v roce 1833 převzal přednášky z chemie všeobecné a technické, (chemie speciální technická), kde od školního roku 1858/1859 učil i o škrobu a cukru škrobovém<sup>55</sup>.



Prof. Karel Preis (1846–1917), profesor analytické chemie, od roku 1876 zajišťoval výuku cukrovárenství a škrobárenství, výuku rozšířil o cvičení z analytické chemie v těchto oborech.



Prof. Antonín Bělohoubek (1845–1910) přednáší od roku 1881 v rámci předmětu Zbožiznalství a technická mikroskopie o škrobu (druhy, plodiny, výroby), v roce 1888 se k němu přidružuje prof. František Štolba (1839–1910) výklady o chemické technologii a chemii agrikulturní<sup>56</sup>.



Prof. Karel Krus (1851–1917), řádný profesor kvasné chemie a fotografie, řádný člen České akademie pro vědu, slovesnost a umění, přednáší v roce 1888 o výrobě lihu ze surovin škrobnatých.



V roce 1900 přebírá Bělohoubkovy přednášky doc. Josef Schneider (1864–1931), řádný profesor technické mikroskopie a zbožíznalství, běličství, barvířství a tiskařství, diplomovaný chemik školy chemické v Mülhausích.



Prof. Karel Andrlík (1861–1931), přednosta cukrovarnické stanice, v roce 1906 přebírá po prof. Preisovi přednášky z cukrovarnictví a výroby škrobu.



Ve školním roce 1915 vypisuje mimořádný profesor hospodářské technologie a hospodářsko-průmyslové správovědy Václav Vilíkovský (1878–1956) nový předmět technologie škrobu.



V letech 1919/1920 inženýr Antonín Nýdrle (1862–1921) suploval přednášky lihovarství a škrobařství a Jan Hašek, jako honorovaný docent přednášel o strojním zařízení lihovarů a škrobáren, roku 1920 jmenován řádným profesorem agrikulturní chemie.



Prof. Václav Kohn (1894–1965) přednášel cukrovarnictví a výrobu škrobu od roku 1931 do roku 1951 s přerušením v letech 1939–1945, kdy byly české vysoké školy uzavřeny.



Ve 30. letech minulého století se věnoval technologii výroby škrobu a lihu na Vysoké škole zemědělské v Brně prof. Bohumil Hošpes.

V letech 1920–1952 se technologie škrobu vyučovala na Ústavu cukrovarnictví a technologie škrobu na VŠCHTI. Vedoucím ústavu byl prof. Václav Kohn. Ve studijním roce 1945/1946 byla na VŠCHTI obnovena činnost výše uvedeného Ústavu cukrovarnictví a technologie škrobu, a to trvalo až do roku 1952, kdy vznikla samostatná VŠCHT Praha. V roce 1946 přišel na VŠCHTI na Ústav kvasné chemie a mykologie doc. Ing. Dr. MUDr. Bohdan Jelínek (habilitovaný na brněnské technice pro chemii a technologii škrobu), který se rovněž krátce podílel na výuce technologie škrobu v rámci přednášek širšího předmětu potravinářských technologií.

Na samostatné VŠCHT Praha na Fakultě potravinářské technologie, byla Technologie škrobu vyučována a zkoumána na Katedře technologie glycidů. Prvním vedoucím katedry byl prof. Dr. Ing. Stanislav Zelenka, který obor technologie škrobu přednášel. Vysokou školu zemědělského a lesnického inženýrství (VŠZLI) absolvoval roku 1935, doktorem technických věd byl promován roku 1936. Po studiích pracoval ve Výzkumných ústavech zemědělských, v Ústavu zemědělské technologie VŠZLI v Praze, ve Výzkumném ústavu bramborářském v Havlíčkově Brodě a v Družstvu hospodářských lihovarů v Praze. Profesorem byl jmenován v roce 1946, kdy působil na vysoké škole v Košicích a později v Nitře, odkud přešel roku 1952 na Fakultu potravinářské technologie VŠCHT Praha. V letech 1953–1959 byl vedoucím Katedry technologie glycidů. V roce 1981 odešel do důchodu, zemřel v roce 1983.

V roce 1959 se ústav přejmenoval na Katedru chemie a technologie sacharidů. V letech 1970–1980 bylo na Katedře chemie a technologie sacharidů umístěno výzkumné pracoviště Škrobáren, n. p., Havlíčkův Brod, což přispělo významně k úzké spolupráci katedry se škrobárenským průmyslem. Na tomto pracovišti působili postupně dr. Ing. Josef Malcher, Karel Medal a Ing. Ivan Boháčenko, CSc. Oblastí chemie a technologie škrobu v pedagogické i výzkumné oblasti se na ústavu zabývali vedle prof. Dr. Ing. Stanislava Zelenky také doc. Ing. Bedřich Kopřiva, CSc., Ing. Ivan Boháčenko, CSc., od roku 2003 Ing. Petra Smrčková, PhD. a od roku 2006 doc. Ing. Evžen Šárka, CSc. Současný název ústavu je Ústav sacharidů a cereálií VŠCHT Praha<sup>14,57</sup>.

Laboratoř škrobu se v poslední době zabývala charakterizací nativního a chemicky modifikovaného škrobu – velikostí škrobových zrn optickou<sup>58,59</sup> a elektronovou<sup>60</sup> mikroskopií, krystalinitou<sup>61</sup>, reologickými vlastnostmi škrobových disperzí<sup>62</sup> a stravitelností škrobu<sup>63</sup>. Byly využívány další analytické metody jako kupř. GPC, FTIR<sup>64</sup> a NMR<sup>65</sup>. Byly zkoumány inženýrské procesy, jako je extruze<sup>66</sup> či adsorpce<sup>67</sup>. Dále byla pozornost věnována

vývoji nových materiálů – nanočásticím škrobu<sup>68</sup>, biologicky rozložitelným plastům na bázi škrobu<sup>69</sup> a lepidlům<sup>70</sup>.

Vědecké články z oblasti škrobářství byly v České republice (dříve v Rakousko-Uhersku a Československu) obvykle publikovány v časopise Listy cukrovarnické. První vydání Listů cukrovarnických bylo roku 1882, nyní se vydávají pod názvem Listy cukrovarnické a řepařské. Příkladem přehledného českého článku o škrobu může být stať v časopise Živa<sup>71</sup> z roku 1856. Dalším časopisem jsou Chemické listy a Czech Journal of Food Sciences vydávaný v angličtině.

Pokud se týče starších českých učebnic, uveďme téměř stostránkovou učebnici Lambů: Škrobařství a octářství<sup>39</sup> z roku 1872, případně učebnici Nový Poupě<sup>72</sup> Josefa Tomáše Suka z roku 1880.

Nejnovější učebnicí o škrobu je dílo Chemie a technologie škrobu (2025)<sup>14</sup>. Mezi předchozí publikace patří Sacharidy<sup>73</sup>, kde se autoři podrobně věnují jejich chemii, dělení (monosacharidy, oligosacharidy, polysacharidy) a významu. Tato publikace je často zmiňovaná v souvislosti s chemickou literaturou a výživou<sup>74</sup>, jako řada dalších, které vznikly na VŠCHT Praha<sup>42,75–77</sup>.

Pokud není uvedeno jinak, jsou obrázky z archivu České společnosti chemické.

## LITERATURA

- Mercader J. a 20 spoluautorů: FACETS 3, 777 (2018).
- Anonym: The Telegraph, 18. December 2009, <https://www.telegraph.co.uk/news/uknews/6834609/Porridge-was-eaten-100000-years-ago.html>, staženo 7. 12. 2025.
- Wiesner J.: Papier-Fabr. 9, 886 (1911).
- Aldrete G. S., Bartell S., Aldrete A.: *Reconstructing Ancient Linen Body Armor: Unraveling the Linothorax Mystery*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore 2013.
- Zhao Y., Zhu X., Fang Y.: Food Hydrocolloids 119, 106817 (2021).
- Loewenstein N. J., Enloe S. F., Everest J. W., Miller J. H., Ball D. M., Patterson M. G.: Forestry & Wildlife, March 2022 (ANR-2221), [https://www.aces.edu/wp-content/uploads/2018/09/ANR-2221\\_HistoryUseKudzu\\_030222L-G.pdf](https://www.aces.edu/wp-content/uploads/2018/09/ANR-2221_HistoryUseKudzu_030222L-G.pdf), staženo 7. 12. 2025.
- Anonym: *Ortus sanitatis*, kap. XXIII, str. 26, Jacob Meydenbach, Mainz 1491; též s jiným stránkováním Johann Prüss, Strasbourg 1497.
- Fischer K.-D.: Studia Philologica Valentina 17, 113 (2015).
- Auden H. A.: *Starch and Starch Products*. Pitman, London 1922.
- Wussin K. Z., Arnolt z Dobroslavína J.: *Dictionarium latino-germanico-bohemicum*. Arnolt z Dobroslavína, Praha 1706.
- Pliny the Elder, Bostock J.: *The Natural History*. Taylor and Francis, London 1855.
- Everett N.: *The Alphabet of Galen: Pharmacy from Antiquity to the Middle Ages: A Critical Edition of the Latin Text with English Translation and Commentary*. University of Toronto Press, Toronto 2012.
- Cato M. P., Varro M. T.: *On agriculture* (přetisk a překlad do angličtiny). Harvard University Press, Cambridge MA 1960.
- Šárka E., Smrčková P., Kadlec P.: *Chemie a technologie škrobu*. /Skriptum/ Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha 2025.
- Great Britain Patent no. 413 (May 17, 1717), viz. Patent History Materials Index; <https://ipmall.law.unh.edu/content/patent-history-materials-index-patent-materials-scientific-american-vol-77-new-series-jul>, staženo 7. 12. 2025.
- Reichert E. T.: *The Differentiation and Specificity of Starches in Relation to Genera, Species, Etc.: Stereochemistry Applied to Protoplasmic Processes and Products, and as a Strictly Scientific Basis for the Classification of Plants and Animals*, Volume 173 of Carnegie Institution of Washington publication, Part 1. Carnegie Institution, Washington 1913.
- Tegge G.: *Stärke und Stärkederivate*. Behr's GmbH, Hamburg 1984.
- Pierer H. A., ed.: *Universal-Lexikon des Gegenwart Vergangheit*. Altenburg 1733.
- Žáček M., Tamchyna J., Žáček J., Šimek M., Koubek F.: *Škrobářství*. 1. díl. Středisko technických informací potravinářského průmyslu (STIPP), Praha 1963.
- Williams L. N.: *Fundamentals of philately, American Philatelic Society*. State College 1990.
- Schwartz D., Whistler R. L., v knize: *Food Science and Technology, Starch* (BeMiller J., Whistler R., ed.), 3. vyd., kap. 1 – *History and Future of Starch*. Academic Press, Cambridge 2009.
- Tucker R. E.: *A Potato Chronology*. Tucker Farms, Inc., Gabriels 2013, <https://www.tuckertaters.com/potato-chronology.pdf>, staženo 7. 12. 2025.
- Radley J. A., ed.: *Industrial Uses of Starch and its Derivatives*. Applied Science Publishers, Barking, Essex 1976.
- Whistler R. L., v knize: *Food Science and Technology, Starch: Chemistry and Technology* (Whistler R. L., Bemiller J. N., Paschall E. F., ed.), 2. vyd., kap. 1 – *History And Future Expectation Of Starch Use*, str. 1–9. Academic Press, Cambridge 1984,
- Find a Grave, Dr Samuel Guthrie Jr.*, <https://www.findagrave.com/memorial/83084724/samuel-guthrie>, staženo 7. 12. 2025.
- Vilikovský V.: *Dějiny zemědělské průmyslu v Československu od nejstarších dob až do vypuknutí světové krize hospodářské*. Ministerstvo zemědělství republiky Československé, Praha 1936.
- Meyer A.: *Untersuchungen über die Stärkekörner*. G. Fischer, Jena 1895.
- Anonym: *Emil Fischer. The Nobel Prize in Chemistry 1902*. <https://web.archive.org/web/20090903164859/>

- [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1902/fischer-bio.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1902/fischer-bio.html), staženo 16. 12. 2025.
29. Mills J. A.: Adv. Carbohyd. Chem. 10, 1 (1955).
  30. Řápková R., Holý P., Vyskočil V., Podešva J., Drašar P.: Chem. Listy 112, 257 (2018).
  31. Syniewski W.: Ber. Dtsch. Chem. Ges. 30, 2415 (1897).
  32. Wurster C.: Ber. Dtsch. Chem. Ges. 22, 145R (1889).
  33. Squibb E. R., Squibb E. H., Squibb C. F., v knize: *An Ephemeris of Materia Medica, Pharmacy, Therapeutics and Collateral Information*, díl V., str. 1956. Brooklyn, N. Y. 1899.
  34. BeMiller J., Whistler R., ed.: *Starch Chemistry and Technology*, 3. vyd. Elsevier, Academic Press, New York 2009.
  35. Whistler R. L., Smith R. J., BeMiller J. N., Wolfrom M. L., ed., v knize: *Methods in Carbohydrate Chemistry*. Volume IV *Starch*. Academic Press, New York 1964.
  36. Záturecký A. P.: *Slovenská přísloví, pořekadla a úsloví*. Česká akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, Praha 1896.
  37. Flajšhans V.: *Podrobný seznam slov Rukopisu Kralodvorského se zvláštním zřetelem ke kritice čtení a výkladu*. Česká akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, Praha 1897.
  38. Purkyně J.: Živa, časopis přírodnický 2, 138 (1854).
  39. Lambl J. B., Lambl K.: *Rolník nového věku, Chemická technologie hospodářská, svazek 41: Škrobařství a octářství*. Nakladatel kněhkupectví I. L. Kober, Praha 1872.
  40. Vilikovský V.: *Zemědělská technologie — průmysl okopanin, obilovin a rostlin obchodně průmyslových. Výroba škrobu bramborového*. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha 1947.
  41. Martínek Z.: *Etnografický atlas Čech, Moravy a Slezska, 3. Řemeslná, domácí a manufakturní výroba a obchod v Čechách v letech 1752–1756*, Etnologický ústav AV ČR, Praha 2000.
  42. Zelenka S., Čurda K., Bohačenko I.: *Technologie krmiv a škrobu*. /Skriptum/ Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha 1983.
  43. Skala L.: *Naši předchůdci, biografický slovník českého zemědělství a venkova*. Agrospoj, Praha 1993.
  44. Culka R., Šupich J.: *Škrobárna J. E. Vonky, ve sbírce Industriální topografie České republiky*. Výzkumné centrum průmyslového dědictví FA ČVUT, Praha 2011–2020.
  45. Vilikovský V.: *Škrobařství a sušárnictví*. Československá společnost chemická, Praha 1927.
  46. Vondruška V.: Sborník historický 31, 83 (1985).
  47. Kutnar F.: Sborník historický 10, 229 (1962).
  48. Dušejovská V.: *Regionální kabinet na 1. stupni ZŠ, Diplomová práce*. Katedra geografie, Pedagogická fakulta, Masarykova univerzita, Brno 2012.
  49. Jadlovský F.: *Vývoj cukrovarů v České republice, jejich historický vývoj a současný stav*. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno 2020.
  50. Šimek R., Škoda J.: *Žabí mlýn*. REAPERXCX, Jihlava, Pelhřimov 2023, <https://www.vodnimlyny.cz/hu/mlyny/estates/detail/11838-zabi-mlyn>, staženo 16. 12. 2025.
  51. Zítek J.: *Zeměpis tržební a obchodní*. Tiskem a nákladem J. Scholle (st. Pospíšila zetě), Chrudim 1907.
  52. Obchodní a živnostenská komora (Praha, Česko): *Statistická zpráva obchodní a živnostenské komory Praze za rok 1885 podaná vysokému c. k. ministerstvu obchodu*. Nákladem Obchodní a živnostenské komory, Praha 1889.
  53. Vávrová M., Žižka J.: Listy cukrovarnické a řepařské 140, 420 (2024).
  54. Čopíková J., Bubník Z., Drašar P.: Chem. Listy 119, 588 (2025).
  55. Velflík A. V.: *Dějiny technického učení v Praze s dějinným přehledem nejstarších inženýrských škol, jakož i akademií a ústavů v Rakousku, na nichž bylo vědám inženýrským nejdříve vyučováno*. Nákladem sboru profesorského c.k. české vysoké školy technické, Česká matice technická, Praha 1906.
  56. Anonym: *Seznam osob české vysoké školy technické v Praze*, ČVŠT, Praha 1919.
  57. Velíšek J. a spol.: *Padesát let Fakulty potravinářské a biochemické technologie 1952–2002*. Nakladatelství OSSIS v Táboře, Praha 2002.
  58. Bohačenko I.: Listy cukrovarnické a řepařské 127, 197 (2011).
  59. Kljak K., Šárka E., Dostálek P., Smrčková P., Grbesa D.: LWT - Food Sci. Technol. 60, 472 (2015).
  60. Šárka E., Smrčková P., Sluková M.: Czech J. Food Sci. 43, 90 (2025).
  61. Šárka E., Koláček J., Synytsya A., Hrušková K., Maixner J., Štětina J.: Starch-Stärke 64, 481 (2012).
  62. Dvořáček V., Bradová J., Sedláček T., Šárka E.: J. Cereal Sci. 89, 102801 (2019).
  63. Štěrbová L., Bradová J., Sedláček T., Holasová M., Fiedlerová V., Dvořáček V., Smrčková P.: Starch-Stärke 68, 593 (2016).
  64. Smrčková P., Horský J., Šárka E., Koláček J., Netopilík M., Walterová Z., Kruliš Z., Synytsya A., Hrušková K.: Carbohyd. Polym. 98, 45 (2013).
  65. Šárka E., Hrabal R., Koláček J., Smrčková P., Bubník Z.: Chem. Listy 109, 204 (2015).
  66. Olšaníková K., Šárka E., Smrčková P.: Czech J. Food Sci. 40, 138 (2022).
  67. Šárka E., Gölge E., Smrčková P., Bleha R., Fila V., Lhotka M., Michalčová A., Maixner J., Štětina J.: Carbohyd. Polym. 370, 124374 (2025).
  68. Aldao D. C., Šárka E., Ulbrich P., Menšíková E.: Czech J. Food Sci. 36, 133 (2018).
  69. Šárka E., Kruliš Z., Kotek J., Růžek L., Voříšek K., Koláček J., Hrušková K., Růžková M., Ekrt O.: Plant Soil Environ. 58, 354 (2012).

70. Šárka E., Cihelková L., Gojny J., Bubník Z.: *Application of wheat B-starch as filler for adhesives*, ve sborníku: Řápková R., Čopíková J., Šárka E. (ed.): *Proceedings of the 6th International Conference on Polysaccharides-Glycoscience*, str. 196. Czech Chemical Society, Prague 2010.
71. Saxa J.: *Živa*, časopis přírodnický 4, 43 (1856).
72. Suk J. T.: *Nový Poupě, katechismus pro sladovnické učenníky a tovaryše, jakož i pro každého, kdož snadným způsobem o základech vaření piva poučení hledá*. Slavík a Borový, Praha 1880.
73. Černý M., Trnka T., Buděšínský M.: *Sacharidy*. Vydavatelství ČSCH v edici Chemické listy, Praha 2010.
74. Kefurt K.: *Chem. Listy* 104, 952 (2010).
75. Bohačenko I., Vydrová H.: *Chemie a technologie škrobu*, v knize: *Technologie sacharidů* (Kadlec P., ed.), skriptum. Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha 2000.
76. Šárka E.: *Technologie škrobu a výrobků ze škrobu*, v knize: *Technologie potravin – Přehled tradičních potravinářských výrob* (Kadlec P., Melzoch K., Voldřich M. a spol., ed.), str. 501–515. KEY Publishing, Ostrava 2012.
77. Sinica A., Čopíková J., Šárka E., Novák M.: *Přírodní a modifikované sacharidy*, skriptum. Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha 2021.

**P. Drašar<sup>a</sup> and E. Šárka<sup>b</sup>** (<sup>a</sup>Department of Chemistry of Natural Substances, <sup>b</sup>Department of Carbohydrates and Cereals, University of Chemistry and Technology, Prague, Czech Republic): **History of Starch, Especially in the Czech Lands, and Teaching of Its Production Technology at the University of Chemistry and Technology, Prague**

The article provides a brief overview of the history of starch production and the teaching of its production technology at the University of Chemistry and Technology in Prague.

Keywords: starch, history of production, starch in education at the University of Chemistry and Technology in Prague



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

## VÝZKUM A VÝVOJ ELEKTROMIGRAČNÍCH METOD V ČESKOSLOVENSKU, ČESKU A SLOVENSKU OD JEJICH POČÁTKŮ AŽ PO SOUČASNOST

*Článek je věnován významnému životnímu jubileu profesora Jiřího Zimy, CSc., bývalého děkana Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy a současného rektora této Univerzity.\**

**VÁCLAV KAŠIČKA**

*Ústav organické chemie a biochemie, Akademie věd České republiky, Flemingovo náměstí 542/2, 160 00 Praha 6, Česká republika  
vaclav.kasicka@uochb.cas.cz*

Došlo 8.1.26, přijato 20.1.26.

Článek pojednává o výzkumu a vývoji elektromigračních metod (EMM) v Československu, Česku a Slovensku od jejich počátků až po současnost. Po krátkém úvodu o EMM obecně jsou nejprve popsány počátky EMM ve světě a jsou představeny první elektroforetické experimenty v Československu na konci 40. let a v 50. letech 20. století. Dále je v přibližně chronologickém pořadí prezentován výzkum a vývoj EMM v jednotlivých výzkumných skupinách na fakultách českých a slovenských univerzit a na ústavech Československé, České a Slovenské akademie věd. Nejvýznamnější výsledky dosažené těmito skupinami jsou uvedeny s odkazy na původní články v prestižních mezinárodních časopisech. Jsou zvažovány všechny aspekty EMM, základní teoretický výzkum, konstrukce nových přístrojů a detektorů a vývoj nových metodik. Je ukázáno reprezentativní využití EMM pro rychlé a vysoce účinné separace, vysoce citlivé analýzy, semipreparativní izolace a fyzikálně-chemické charakterizace široké škály (bio)molekul a (bio)částic. Všechny uvedené výsledky potvrzují, že čeští a slovenští specialisté významně přispěli k velkému pokroku EMM v jejich počátcích i v poslední době.

**Klíčová slova:** elektroforéza, izotachoforéza, izoelektrická fokusace, afinitní elektroforéza, elektrokinetická chromatografie, elektrochromatografie

### Obsah

1. Úvod
2. Počátky elektromigračních metod ve světě a v Československu
3. Výzkum a vývoj elektromigračních metod na jednotlivých pracovištích
  - 3.1. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze (PřF UK)
  - 3.2. Ústav analytické chemie ČSAV/AV ČR v Brně (ÚACH)
  - 3.3. Přírodovědecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislavě
  - 3.4. Ústav organické chemie a biochemie ČSAV/AV ČR v Praze (ÚOCHB)
  - 3.5. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci
  - 3.6. Lékařská fakulta Univerzity Palackého v Olomouci
  - 3.7. Fakulta chemické a potravinářské technologie Slovenské technické univerzity v Bratislavě
  - 3.8. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
  - 3.9. Fyziologický ústav ČSAV/AV ČR v Praze
  - 3.10. Fakulta životního prostředí Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem
  - 3.11. Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity v Brně
  - 3.12. 3. lékařská fakulta Univerzity Karlovy v Praze
  - 3.13. Farmaceutická fakulta Univerzity Komenského v Bratislavě
  - 3.14. Farmaceutická fakulta Univerzity Karlovy v Hradci Králové
  - 3.15. Fakulta chemicko-technologická Univerzity Pardubice
  - 3.16. Agronomická fakulta Mendelovy univerzity v Brně
4. Závěr

\* Článek vznikl na pozvání redakčního kruhu a jeho výjimečně větší stránkový rozsah byl vzhledem k jedinečnosti představeného tématu a jeho podrobnému zpracování umožněn.

## 1. Úvod

Elektromigrační metody jsou významné separační techniky založené na dvou elektrokinetických jevech, elektroforéze a elektroosmóze. Podle separačního principu lze elektromigrační metody rozdělit do dvou skupin. První z nich tvoří čtyři „čistě“ elektroforetické metody, zahrnující zónovou elektroforézu (ZE), izotachofózu (ITP), izoelektrickou fokusaci (IEF) a afinitní elektroforézu (AE), a do druhé skupiny patří dvě kombinované elektrochromatografické metody – elektrokinetická chromatografie (EKC) a elektrochromatografie (EC)<sup>1</sup>. Elektroforetické dělení ionogenních látek a povrchově nabitých koloidních (bio)částic je založeno na jejich různých elektroforetických pohyblivostech, tj. rychlostech pohybu v elektrickém poli o jednotkové intenzitě. Rozdílné pohyblivosti různých látek a (bio)částic vyplývají z jejich různých elektrických nábojů, rozměrů a tvarů. Kombinované elektrochromatografické metody využívají k dělení látek zejména jejich různě silné interakce se stacionárními či pseudostacionárními fázemi na stěnách či uvnitř separačního prostoru, přičemž hybnou silou mobilní fáze je elektroosmotický tok (EOF). Kromě interakcí s (pseudo)stacionárními fázemi mohou k dělení ionogenních látek přispívat i jejich rozdílné elektroforetické pohyblivosti. Oba tyto typy elektromigračních metod vynikají vysokou separační účinností a rozlišovací schopností. Jsou využívány pro analytické a preparativní separace širokého spektra (bio)molekul a (bio)částic, počínaje malými ionty kovů a anorganických i organických kyselin a bází, aminokyselin a aminů, přes středně velké oligo- a polypeptidy, oligo- a polynukleotidy a oligo- a polysacharidy až po velké (bio)makromolekuly proteinů, nukleových kyselin, polysacharidů a syntetických polymerů. Elektroforetický lze dělit i (bio)částice, např. viry, bakterie, buňky a buněčné orgány a přírodní či syntetické nano- a mikročástice. Jakožto separační procesy, patří elektromigrační techniky společně s chromatografickými metodami k významným chemickým disciplínám. Je to dáno tím, že přírodní látky i syntetické sloučeniny a (bio)částice se obvykle vyskytují ve více či méně komplexních směsích, ze kterých je třeba je nejdříve oddělit, aby mohly být zkoumány jejich chemické a fyzikální vlastnosti a biologické aktivity. Čeští chemici si této skutečnosti byli vědomi a začali tyto metody zkoumat a vyvíjet již na konci 40. let minulého století. Výzkum a vývoj elektromigračních metod i příbuzných chromatografických metod má tak u nás dlouhou tradici a významný přínos českých i slovenských specialistů k rozvoji těchto metod je mezinárodně uznáván a oceňován<sup>2–5</sup>.

## 2. Počátky elektromigračních metod ve světě a v Československu

Elektroforézu a elektroosmózu poprvé pozoroval Ferdinand Reuss již na počátku 19. století<sup>6</sup>. První teorii popisující principy elektroforetického pohybu a dělení malých iontů v diskontinuálním elektrolytovém systému

vytvořil na konci téhož století Friedrich Kohlrausch<sup>7</sup>, který odvodil tzv. regulační funkci. Podle ní se ionty oddělují podle svých iontových pohyblivostí a jejich koncentrace v zónách v ustáleném stavu v daném elektrolytovém systému je konstantní a nezávislá na jejich původní koncentraci. První prakticky významné využití elektroforézy jako analytické separační metody však předvedl švédský chemik Arne Tiselius až ve 30. letech minulého století. Separacním prostorem jeho aparatury byla křemenná U-trubice naplněná volným roztokem pufru a detekce byla založena na měření změny indexu lomu<sup>8</sup>. Tuto sestavu využil pro dělení bílkovin krevního séra do čtyř základních skupin (albuminy a  $\alpha$ -,  $\beta$ - a  $\gamma$ -globuliny) metodou zvanou elektroforéza pohyblivého rozhraní (moving boundary electrophoresis). Za tyto průlomové objevy byl v roce 1948 odměněn Nobelovou cenou za chemii. V následujících letech byly vyvíjeny další elektroforetické a elektrochromatografické metody a byly zkoumány možnosti jejich využití k oddělení látek a (bio)částic pro analytické i preparativní účely. Zde si zaslouží uvést metodu ZE ve volném roztoku v rotující skleněné trubičce o vnitřním průměru 3 mm, kterou již v 50. letech minulého století vyvinul Tiseliusův žák a spolupracovník, Stellan Hjertén na Univerzitě v Uppsale<sup>9</sup>. Konstrukci této aparatury i teoretické základy ZE a dosažené výsledky však popsal v rozsáhlé téměř stostránkové publikaci až v roce 1967 (cit.<sup>10</sup>).

Velmi dobrým základem pro výzkum a vývoj elektromigračních metod v Československu byl základní výzkum v oblasti obecné elektrochemie, který již ve 20. letech minulého století prováděl na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze Jaroslav Heyrovský<sup>11</sup>. Ten byl později, v roce 1959, vyznamenán Nobelovou cenou za „objev a rozpracování analytické polarografické metody“. Podle autorovi dostupných pramenů začal výzkum elektromigračních metod v Československu v tehdejší Ústředním ústavu chemickém, dnešním Ústavu organické chemie a biochemie AV ČR (ÚOCHB), shodou okolností autorově současném pracovišti. První elektroforetické experimenty tam provedli A. H. Gordon, B. Keil a K. Šebesta již v letech 1947–1949. Byli si vědomi rušivých vlivů termokonvekce v důsledku různých teplot ve středu a na okrajích separačního prostoru a sedimentace makromolekul bílkovin ve volném roztoku v relativně širokých ramenech svisle orientované U-trubice o vnitřním průměru 1 cm v Tiseliově elektroforéze pohyblivého rozhraní, a proto začali dělit modelové bílkoviny (ferritin, hemoglobin a bílkoviny vaječného bílku) v agarovém gelu umístěném na chlazené skleněné desce v laboratorním zařízení pro plošnou gelovou elektroforézu. Agarový gel vykazoval stabilizační antikonektivní efekt a částečně též síťový efekt a umožnil semipreparativní oddělení ferritinu a hemoglobinu a částečné dělení bílkovin vaječného bílku. Výsledky těchto experimentů zveřejnili v roce 1949 v prestižním časopise Nature<sup>12</sup> a o rok později podrobně popsali v časopise Collection<sup>13</sup>. Vedoucím Ústředního ústavu chemického byl František Šorm, který podporoval zavádění tehdy nových chromatografických a elektroforetických metod do (bio)chemického výzkumu.

V roce 1953 byl Ústřední ústav chemický přeměněn na Ústav organické chemie (v roce 1960 rozšířený o biochemii a přejmenovaný na výše uvedený ÚOCHB) tehdy založené Československé akademie věd. František Šorm se stal jeho ředitelem a výzkum separačních metod v tomto ústavu podporoval i nadále. V 50. letech byly v tomto ústavu i na jiných pracovištích v Československu i ve světě vyvíjeny různé aparatury pro papírovou elektroforézu. V ÚOCHB to byla nechlazená nízkovoltová tzv. sestupná papírová elektroforéza sestavená Otakarem Mikešem<sup>14</sup>. Byla široce využívána zejména pro výzkum peptidů a bílkovin. Vzorek obsahující hydrolyzované bílkoviny nebo (poly)peptidy byl nanesen do střední linie svle orientovaného pufrem nasátého speciálního filtračního papíru zavěšeného mezi dvěma elektrodovými kvyetami, do kterých bylo prostřednictvím platinových elektrod přiváděno separační napětí. Výsledný pohyb peptidů byl kombinací jejich elektroforetické migrace, elektroosmotického toku pufří uvnitř pórů papírového nosiče směrem k horní záporně nabitě elektrodě (katodě) a vztlání pufří z obou elektrodových kvyet směrem do středu papíru. Při tomto uspořádání docházelo k zaostřování zón separovaných peptidů. Po ukončení experimentu neutrální peptidy zůstávaly uprostřed papíru ve směsné zóně v místě jejich počátečního nanesení, zatímco bazické, kladně nabitě peptidy vytvářely zóny v horní katodické oblasti papíru, a kyselé, záporně nabitě peptidy se nacházely v zónách v dolní anodické oblasti papíru.

Světově prioritní dvoudimenzionální (2D) dělení směsi peptidů metodami diagonální papírové elektroforézy a diagonální papírové chromatografie, vyvinutými Otakarem Mikešem a Václavem Holeyšovským, bylo využito zejména pro určování míst disulfidových můstků v primárních strukturách bílkovin<sup>15</sup>. Lepší rozlišení a rychlejší separace aminokyselin, peptidů a bílkovin byly dosaženy v chlazené vysokovoltové papírové elektroforéze s pevným kovovým a elektricky izolovaným tepelným výměníkem, kterou vyvinuli Zdeněk Prusík a Bořivoj Keil<sup>16</sup>. Oba tyto typy papírové elektroforézy byly hojně využívány pro analytické i semipreparativní separace aminokyselin a peptidů při studiu primární struktury bílkovin, tj. při určování pořadí aminokyselin v jejich peptidových řetězcích, včetně pozic intra- i inter-řetězcových disulfidových spojení.

Vývoj instrumentace a teoretické studie papírové elektroforézy pokračovaly i v 60. a 70. letech minulého století. Vladimír Jokl z Farmaceutické fakulty Univerzity Karlovy v Hradci Králové zkoumal separaci iontů kovů papírovou elektroforézou v pufrech obsahujících organické ligandy, např. ethylendiaminotetraoctovou kyselinu (EDTA)<sup>17</sup>. Tyto ligandy tvořily s ionty kovů různé pevné komplexy a díky tomu bylo možné dělit i ionty kovů se stejnými nebo velmi blízkými pohyblivostmi, např. kationty kovů vzácných zemin, zejména lanthanoidů. Z těchto měření V. Jokl odvodil empirické rovnice pro určování iontových pohyblivostí zkoumaných komplexů. Jiří Vacík na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze využíval papírovou elektroforézu k teoretickým studiím.

Ve spolupráci se Zdeňkem Fidlerem řešil rovnici kontinuity pro nelineární distribuční funkci v papírové elektroforéze s protiproudem nosného elektrolytu pomocí analogových počítačů<sup>18</sup>.

Novým silným impulsem pro rozvoj elektromigračních metod v Československu na přelomu šedesátých a sedmdesátých let minulého století byly úspěšné separace malých iontů metodou vytěšňovací elektroforézy (displacement electrophoresis) v tenké skleněné trubičce, které v roce 1967 provedli a popsali Arche J. P. Martin (nositel Nobelovy ceny za chemii v roce 1952 za vynález rozdělovací chromatografie) a jeho tehdejší doktorand, Frans M. Everaerts<sup>19</sup>. Tato metoda, později zvaná izotachoforéza (ITP) (podle stejné migrační rychlosti separovaných zón v ustáleném ITP stavu)<sup>20</sup>, probíhala ve volném roztoku v tenkých skleněných trubičkách/kapilárách o vnitřním/vnějších průměru 0,5/0,8 mm, ve kterých byl EOF potlačen zvýšením viskozity vedoucího elektrolytu přidávkou hydroxyethylcelulosity.

Díky koncentračnímu a samo-zaostřujícímu účinku diskontinuálního elektrolytového systému řízenému Kohlrauschovou regulační funkcí<sup>7</sup> byly bezprostředně sousedící zóny kationtů nebo aniontů velmi ostře odděleny a jejich délka byla přímo úměrná množství kationtů nebo aniontů zavedených do rozhraní mezi vedoucím a koncovým elektrolytem. Kapilární ITP (CITP) byla tehdy považována za velmi perspektivní analytickou a preparativní metodu. Brzy po vývoji laboratorních CITP zařízení, již v roce 1970, se na trhu objevil první komerční CITP analyzátor (Tachophor); vyráběla ho švédská firma LKB. Separacím prostorem byla teflonová kapilára o vnitřním/vnějších průměru 0,5/0,8 mm a délce 23–80 cm. Separace byla zpočátku sledována univerzálním ale málo citlivým teplotním (termočlánkovým) detektorem, který byl brzy nahrazen jiným univerzálním, mnohem citlivějším kontaktním detektorem elektrické vodivosti roztoku v krátkém úseku kapiláry tvořícím tzv. „on-column“ detekční celou (celou na koloně). Pokročilejší verze tohoto přístroje byla vybavena i specifickým „on-column“ UV-absorpčním detektorem při vlnových délkách 206, 254 a 280 nm. Kvůli omezeným devizovým prostředkům českých a slovenských výzkumných pracovišť nebylo možné tento přístroj zakoupit. Proto, dříve než mohli metodu CITP začít studovat a dále ji rozvíjet, byli čeští a slovenští odborníci nuceni si přístroje pro tuto metodu nejprve sami v laboratorních podmínkách, tzv. „na koleně“, vyrobit. Zpočátku to představovalo určitou překážku, ale později se to ukázalo jako výhoda. Při konstrukci řady unikátních zařízení pro CITP s parametry srovnatelnými s komerčním Tachophorem získali čeští a slovenští výzkumníci cenné praktické zkušenosti a brzy patřili k předním mezinárodně uznávaným odborníkům nejen při vývoji CITP, ale později i při vývoji dalších CE metod. Československo patřilo společně s Nizozemskem, Švédskem a Japonskem v oblasti vývoje CITP ke světové špičce a československá ITP škola byla a je ve světě uznávána<sup>3</sup>.

### 3. Vývoj elektromigračních metod na jednotlivých pracovištích

#### 3.1. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze (PřF UK)

Prvním československým pracovištěm, které začalo zkoumat teorii ITP a vyvíjet CITP instrumentaci a metodiku, byla skupina Jiřího Vacíka na Katedře fyzikální chemie PřF UK, a to již v letech 1968–1969. Stalo se tak díky spolupráci J. Vacíka a jeho zručného mechanika i elektrotechnika Jiřího Zusky s „otcem“ CITP Fransem Everaertsem a jeho asistentem Theo Verheggenem z Technické Univerzity v Eindhoven. Tito nizozemští kolegové občas i tzv. „v kapse“ přivezli pokročilé elektronické součástky (integrované obvody, operační zesilovače), které nebyly v ČSSR dostupné, a umožnili tak konstrukci důležitých součástí CITP přístrojů, jakými byly vysokonapěťový zdroj konstantního proudu nebo miniaturní vysoce citlivý „on-column“ detektor elektrické vodivosti. V prvním laboratorním CITP zařízení vzniklém z této spolupráce experimentovali s protiproudem vedoucího elektrolytu, který účinně prodlužoval separační dráhu CITP separace organických i anorganických kationtů nebo aniontů v relativně krátké teflonové kapiláře. Výsledky publikovali v několika společných článcích, v prvním z nich již v roce 1970 (cit.<sup>21</sup>).

V dalších letech bylo toto zařízení zdokonalováno a bylo vybaveno prvním kapacitně vázaným bezkontaktním vodivostním detektorem vyvinutým tehdejším vědeckým aspirantem (v dnešní terminologii doktorandem) Bohuslavem Gašem<sup>22</sup>. Tento detektor byl později zdokonalen a upraven pro využití v CZE (cit.<sup>23</sup>). Byl vyráběn společností ADMET založenou Jiřím Zuskou a dodnes je využíván v mnoha laboratorních i komerčních CE přístrojích. V 80. letech 20. století J. Vacík pokračoval v teoretických studiích elektromigračních metod. Ve spolupráci s bratry Vlastimilem a Zdeňkem Fidlerovými publikoval výsledky řešení rovnice kontinuity získané simulací na hybridních počítačích<sup>24</sup>. I přes některá zjednodušení (studovaný systém obsahoval pouze čtyři silné elektrolyty) výsledky názorně ukazovaly dynamiku separačního procesu včetně úpravy koncentrace analytů v ustáleném ITP stavu ve shodě s Kohlrauschovou regulační funkcí. Ve studiu teoretických základů elektromigračních procesů na tomto pracovišti v dalších letech velmi úspěšně pokračoval Bohuslav Gaš, pozdější prorektor UK a děkan PřF UK. Vytvořil nový teoretický model elektroforézy popsáný sérií diferenciálních rovnic a našel způsoby jejich numerického řešení<sup>25</sup>. Společně s V. Hruškou podrobně popsal význam Kohlrauschovy regulační funkce a jiných konzervativních funkcí v ZE a ITP (cit.<sup>26</sup>).

Společně se svými studenty (Vlastimilem Hruškou, Michalem Jarošem, Pavlem Dubským) a spolupracovníky (Evou Tesařovou, Ivou Zuskovou, Kateřinou Včelákovou-Ušelovou, Martinou Riesovou, Janou Svobodovou a další-

mi) vyvinuli a experimentálně ověřili pokročilé programy pro simulaci elektromigračních procesů, PeakMaster<sup>27</sup> a Simul<sup>28</sup>. Nejnovější verze těchto programů, PeakMaster 6 (cit.<sup>29</sup>) a Simul 6 (cit.<sup>30</sup>), jsou volně dostupné na webu: <https://echmet.natur.cuni.cz/#portfolio>. Tyto programy jsou velmi cennými nástroji pro simulaci a optimalizaci experimentálních podmínek všech hlavních CE metod, CZE, CITP, ACE a CEKC. Program PeakMaster umožňuje výpočet pozice a tvaru piků jednotlivých analytů i systémových piků v přítomnosti současně probíhajících acidobazických a komplexačních rovnováh. Program provádí výpočty a ukazuje vlastnosti BGE a zobrazuje elektroforegramy resp. elektrokinetické chromatogramy během několika vteřin.

Program Simul 6 je založen na modelu zahrnujícím rovnici kontinuity pro pohyb elektrolytů v kapalném prostředí, acidobazické rovnováhy slabých elektrolytů a podmínku elektroneutality. Může zahrnovat multivalentní elektrolyty i amfolyty a poskytuje kompletní obraz o dynamice elektromigrace a difuze v metodách CZE, CITP a CIEF. Umožňuje sledovat dynamiku separačních procesů včetně jejich přechodových (transientních) stavů, testování vlastností elektrolytových systémů a „*in-silico*“ optimalizaci experimentálních podmínek. Tím podstatně zkracuje vývoj vhodných podmínek pro praktické CE separace a analýzy (bio)molekul. S využitím těchto programů byly objeveny a experimentálně ověřeny některé speciální jevy, např. předpověď pozice a tvaru systémových piků na elektroforegramu<sup>31</sup> a výskyt oscilujících elektrolytů<sup>32</sup>.

V poslední době byly v této skupině vyvinuty nové programy pro výpočet termodynamických aciditních konstant slabých a amfoterních elektrolytů ze závislosti jejich efektivních elektroforetických pohyblivostí na pH (cit.<sup>33</sup>) a nový matematický model elektromigrace v mikrokanálcích při lokálním nesplnění podmínky elektroneutality<sup>34</sup>.

CE metody byly rozvíjeny rovněž na Katedře analytické chemie této fakulty. Ivan Jelínek a Jiří Snopek ve skupině Evy Smolkové-Keulemansové poprvé využili cyklodextriny jako stereoselektivní přísady do vedoucího elektrolytu CITP a v letech 1987–1992 se jim podařilo oddělit poziční izomery a enantiomery několika chirálních sloučenin a léčiv<sup>35–37</sup>. Další pracovníci této katedry, Věra Pacáková, Karel Štulík, Pavel Coufal a Tomáš Křížek, vyvinuli nové CE metody a využili je pro separace a analýzy různých organických i anorganických iontů a pro studium jejich nekovalentních interakcí s různými ligandy a receptory<sup>38–40</sup>.

Nové elektroforetické metody byly na PřF UK vyvíjeny také na Katedře biochemie. Václav Hořejší a Marie Tichá tam zavedli metodu afinitní elektroforézy v polyakrylamidových nebo agarosových gelech a využili ji ke studiu interakcí glykoproteinů s lektiny a dalšími ligandy<sup>41,42</sup>.

### 3.2. Ústav analytické chemie ČSAV/AV ČR v Brně (ÚACH nyní UIACH)

Na tomto pracovišti, konkrétně ve skupině Petra Bočka, začal vývoj CITP v první polovině 70. let. P. Boček a Mirko Deml vyrobili speciální ITP aparaturu, ve které separačním prostorem nebyla kapilára, ale žlábek (drážka) s pravoúhlým průřezem o hloubce 0,2 mm a šířce 1 mm vyfrézovaný v polyakrylamidovém bloku umístěném na hliníkovém výměníku tepla chlazeném cirkulující kapalinou<sup>43</sup>. Rychlé CITP separace v časech většinou do pěti minut byly sledovány univerzálním detektorem gradientu elektrického potenciálu na krátkém úseku kapiláry (0,5–1,0 mm)<sup>44</sup>. P. Boček a jeho kolegové vyvinuli řadu speciálních modifikací ITP, např. kontinuální dávkování vzorku<sup>45</sup> a koncentrační kaskádu vedoucího elektrolytu<sup>46</sup>, které umožnily zavádění větších objemů vzorků do separačního prostoru. Principiálně významné byly teoretické práce popisující využití hydroxoniových kationtů jako koncových iontů kationických ITP elektrolytových systémů<sup>47</sup> a objasňující výskyt systémových zón v CZE (cit.<sup>48</sup>).

Členové Bočkovy skupiny významně přispěli k rozvoji CITP a později i dalších CE metod. Petr Gebauer vytvořil diagram existence CITP zón<sup>49</sup>, zavedl tzv. diagram tvaru píků, který umožnil najít vhodné podmínky pro symetrické píky v CZE (cit.<sup>50</sup>), a vysvětlil schizofrenní chování („cik-cak“ píky) některých analytů<sup>51</sup>. Vladislav Dolník a spol. zavedli předseparaci velkého objemu vzorku pro stopovou CITP analýzu<sup>52</sup>. Jan Pospíchal a spol. předvedli možnost modifikace pH v separačním systému přidávkou elektrolytu z jiné elektrodové nádoby změnou poměru elektrických proudů ze dvou elektrodových nádobek<sup>53</sup>. Karel Klepárník a spol. vyvinuli CE separace fragmentů DNA v krátkých křemenných kapilárách v silně alkalických (pH > 12) základních elektrolytech<sup>54</sup> a významně přispěli k vývoji rozhraní pro spojení CE separací s ESI-MS detekcí<sup>55,56</sup>. Radim Vespalec se věnoval hlavně vývoji CE metod pro enantioselektivní separace chirálních látek<sup>57</sup> a pro separaci a analýzu karboranů<sup>58</sup>.

Ludmila Krivánková, ředitelka ústavu v letech 2007–2017, a její spolupracovníci vytvořili klasifikaci kationických a anionických ITP elektrolytových systémů, podle které lze rozlišit stabilní pufrované systémy, stabilní nepufrované systémy a nestabilní nepufrované systémy<sup>59</sup>. Významně též přispěli k vývoji kombinovaných 2D-CITP-CZE metod<sup>60,61</sup> a k využití přechodné (transient) ITP (tITP) ke zkoncentrování analytů o nízkých koncentracích před jejich následnou CZE analýzou<sup>62</sup>.

František Foret, současný ředitel ústavu, významně přispěl k vývoji instrumentace, metodiky i využití CE metod. Již v roce 1986 zkonstruoval kombinovaný UV-absorpční a bezkontaktní vodivostní detektor<sup>63</sup>. V 90. letech během téměř desetiletého postdoktorského pobytu v Barnett Institute of Northeastern University v Bostonu ve skupině B. Karger vyvinul online spojení CZE, CITP-CZE a mikročipové CE (MCE) separace bílkovin s jejich detekcí a identifikací hmotnostní spektrome-

trií s elektrosprejovou ionizací (ESI-MS)<sup>64,65</sup>. Po návratu do ÚIACH v roce 2002 zde založil novou výzkumnou skupinu „Bioanalytická instrumentace“ a pokračoval ve vývoji rozhraní pro spojení CE a MCE s ESI-MS detekcí<sup>66,67</sup> a v jejich využití pro analýzu biomolekul. V poslední době vyvinul novou metodu – epitachoforézu<sup>68</sup>. Ta je založena na elektromigraci ionogenních látek v ITP elektrolytovém systému v kruhovém separačním prostoru s anodou pro anionty (nebo s katodou pro kationty) v jejím středu a s katodou pro anionty (nebo anodou pro kationty) na vnějším obvodu kruhu a je využívána pro semipreparativní izolaci nukleových kyselin a bílkovin.

Pavel Kubáň, současný vedoucí dřívější Bočkovy skupiny, a jeho spolupracovníci vyvinuli novou metodu pro přípravu vzorku, elektroextrakci s pomocí kapalné membrány, a využili ji pro extrakci kationtů těžkých kovů a jiných iontů z komplexních směsí s následnou CZE analýzou extrahovaných iontů<sup>69</sup>. V dalších pracích spojili mikroextrakci v kapalné fázi z dutých vláken a CZE analýzu lidských biologických tekutin<sup>70</sup> a zkombinovali odběr vzorků sušených krevních skvrn s automatizovanou CE analýzou klinických vzorků<sup>71</sup>. Bratr Pavla, Petr Kubáň, se zabývá vývojem miniaturizovaných přenosných CE zařízení s bezkontaktní vodivostní nebo fluorescenční detekcí a jejich využitím pro místní stanovení malých organických a anorganických iontů v různých biologických tekutinách<sup>72,73</sup>.

Významný příspěvek pracovníků ÚIACH, tzv. „brněnské elektroforetické školy“ (cit.<sup>4</sup>) k vývoji a využití CE metod potvrzují nejen početné vědecké články, ale i knihy popisující teoretické základy, instrumentaci, metodiku a využití CITP (cit.<sup>74</sup>) a CZE a dalších CE metod<sup>75</sup>. V neposlední řadě je třeba zmínit, že P. Boček působil a F. Foret stále působí jako zástupce šéfredaktora časopisu Electrophoresis – významného mezinárodního časopisu věnovaného elektromigračním metodám. Kromě toho F. Foret a jeho spolupracovníci organizují sérii sympozií International Interdisciplinary Meeting, CECE YYYY (<https://www.ce-ce.org/>), kde zkratka CECE pochází z původního názvu těchto setkání, Central European Capillary Electrophoresis.

Na rozvoji CE metod se v ÚIACH významně podíleli i pracovníci skupin Karla Šlaisa, Michala Rotha a Josefa Chmelíka. K. Šlais syntetizoval nízkomolekulární pI markery pro kalibraci pH gradientu v kapilárním i plošném gelovém formátu IEF (cit.<sup>76</sup>) a vyvinul elektrofokasaci v pH gradientech generovaných ITP v kapilárách s kuželovitým průřezem<sup>77</sup> a preparativní separaci amfoterních analytů pomocí divergentního toku IEF (cit.<sup>78</sup>). M. Roth a spol. přispěli k vývoji křemenných kapilár upravených superkritickou vodou se dvěma sekcemi s různými vnitřními průměry a drsností vnitřních stěn<sup>79,80</sup>. Tyto kapiláry byly použity např. pro předkoncentraci a separaci bakterií<sup>81</sup> a pro identifikaci alergenů mléčných bílkovin<sup>82</sup>. J. Chmelík přispěl k rozvoji CIEF s EOF mobilizací fokusovaných zón bílkovin<sup>83</sup> a k vývoji kombinované metody IEF-frafrakcionace tokem v poli<sup>84</sup>.

### 3.3. Přírodovědecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislavě

Vývoj CITP na Katedře analytické chemie této fakulty zahájil v první polovině 70. let Samo Stankoviánsky. V dalších letech v něm intenzivně pokračoval jeho žák Dušan Kaniánsky, který vedl tuto katedru v letech 1990–1997 a od roku 2003 až do svého náhlého úmrtí v roce 2010. Do vývoje CITP zapojil většinu pracovníků této katedry. Nejprve zhotovili jednoduchou CITP aparaturu s kontaktním vodivostním detektorem<sup>85</sup>. Následně se však rozhodli pro jinou koncepci CITP instrumentace a vyvinuli funkční model tzv. dvoukolonového elektroforetického analyzátoru sestávajícího z předseparační širší kapiláry o vnitřním průměru 0,8 mm a z on-line připojené tenčí analytické kapiláry o vnitřním průměru 0,3 mm. Obě svisle orientované kapiláry byly vyrobeny z kopolymeru složeného z fluorovaného ethylenu a propylenu (FEP). Tento přístroj poskytoval 2D separační systém, ve kterém bylo možné spojovat různé CE metody, nejčastěji CITP v předseparační kapiláře a CZE v analytické kapiláře<sup>86</sup>, ale bylo možné provádět i 2D separace založené na dvou různých CITP nebo CZE elektrolytových systémech. Jednalo se o tzv. hydrodynamicky uzavřený systém s elektricky propustnou ale hydrodynamicky nepropustnou porézní membránou mezi analytickou kapilárou a spodní elektrodovou nádobkou<sup>87</sup>. Relativně malý elektroosmotický tok v této speciální kapiláře bylo třeba potlačovat přidávkou derivátů celulosy. Spojení dvou kapilár o různém průměru umožňovalo analýzu vzorků s velkým koncentračním rozsahem jednotlivých analytů, a to až v poměru 1:10 000.

Velkým úspěchem tohoto pracoviště bylo, že tento laboratorní přístroj se stal základem pro komerční CITP a CE analyzátor vyráběný od roku 1984 v detašovaném pracovišti košického Ústavu radioekologie a využitia jadrovej techniky ve Spišské Nové Vsi. Toto pracoviště se v roce 1992 přeměnilo na společnost Villa-Labeco, která zdokonalené verze tohoto přístroje vyrábí dodnes, viz <https://www.villalabeco.sk/>. Zasloužil se o to zejména Marián Koval. Pro tento přístroj byl později vyvinut detektor spektrofotometrický<sup>88</sup> a radiometrický<sup>89</sup> a lze ho připojit i k MS detektoru<sup>66</sup>. Koncept dvoukolonového uspořádání s přepínáním separačních kanálků byl využit i v později vyvinutých mikročipových CITP a CZE analyzátoch<sup>90</sup>.

Kapilární i mikročipový systém se spojenými kolonami byl využit pro mnoho analýz praktických vzorků většinou nízkomolekulárních ionogenních látek v nejrůznějších matricích anorganického i organického původu. Na jejich vývoji se podílela velká řada pracovníků katedry, z nichž alespoň někteří jsou dále jmenovitě uvedeni. Imre Zelenský a Viera Zelenská vypracovali postupy pro kombinované CITP-CZE stanovení anorganických aniontů v říčních vodách<sup>91</sup> a vysoce citlivé CITP stanovení chromanových aniontů v pitné vodě s mezí detekce na úrovni ppb (cit.<sup>92</sup>). Vlasta Madajová a Eva Šimuničová využily 2D-CITP pro stanovení benzoové kyseliny v potravinách<sup>93</sup> a metodou preparativní CITP izolovaly několik glykoforem proteinu

erythropoietinu<sup>94</sup>. Milan Hutta vyvinul CITP stanovení mastných kyselin v pitné vodě<sup>95</sup> a využil off-line spojení HPLC a CITP pro stopovou analýzu ionogenních látek v komplexních matricích<sup>96</sup>. Jozef Marák se podílel na vývoji počítačem asistovaného systému pro volbu elektrolytových systémů a výběr tzv. spacerů („oddělovačů“ vybraných analytů od ostatních složek vzorku) pro 2D-CITP separace komplexních směsí kationtů i aniontů<sup>97</sup> a preparativní CITP využil pro předseparaci komplexních směsí kationtů a aniontů před jejich následnou off-line MS identifikací<sup>98</sup>. Andrea Staňová off-line spojila preparativní CITP metodu pro přípravu vzorku s následnou CZE-ESI-MS analýzou terapeutických peptidů v lidské moči<sup>99</sup>.

Marián Masár a Robert Bodór se podíleli zejména na vývoji a využití nové generace CE zařízení v mikročipovém formátu. Prováděli CITP, CZE a CITP-CZE separace analytů v uzavřených systémech v planárních mikročipech s online spojenými separačními kanálky<sup>100</sup>, které byly obdobou klasických kapilárních systémů se spojenými kolonami<sup>86</sup>. Tyto nové MCE sestavy s vodivostním, spektrofotometrickým nebo MS detektorem byly využity např. pro analýzu aniontů organických i anorganických kyselin v říčních vodách<sup>101</sup> a ve víně<sup>102</sup> a pro stanovení kationtů kovů a amonného iontu v pitných vodách<sup>103</sup>.

### 3.4. Ústav organické chemie a biochemie ČSAV/AV ČR v Praze (ÚOCHB)

Kromě výše uvedené vysokonapěťové papírové elektroforézy<sup>16</sup> Zdeněk Prusík ve spolupráci s pracovníky vývojových dílen ÚOCHB vyvinul v 70. letech unikátní zařízení pro kontinuální průtokovou zónovou elektroforézu ve volném roztoku (free-flow zone electrophoresis, FFZE)<sup>104</sup>. Podrobně je toto zařízení popsáno v nedávném článku věnovaném výzkumu a vývoji elektromigračních metod v ÚOCHB (cit.<sup>105</sup>). Na konci 70. a počátku 80. let Z. Prusík a tehdejší (v současné terminologii) doktorand V. Kašička vyvinuli laboratorní zařízení pro CITP. Separace probíhala v tenké teflonové kapiláře o vnitřním/vnější průměru 0,4/0,7 mm a délce 25–40 cm a byla sledována univerzálním detektorem gradientu elektrického potenciálu a specifickým UV-absorpčním detektorem při vlnových délkách 206, 254 nebo 280 nm. Tento přístroj byl následně rozšířen o online připojený sorpční element obsahující transferin imobilizovaný na pevném sorbentu. Toto uspořádání představovalo mezinárodně prioritní propojení extrakce tuhou fází s CE metodou. Bylo využito pro zachycení a zkoncentrování monoklonálních protilátek (mAb) proti transferinu z ascitické tekutiny s následnou elektrodosorpcí mAb za mírných podmínek zachovávajících jejich vazebnou aktivitu. Díky koncentračnímu ITP efektu byly elektrodosorbované látky zkoncentrovány do vysokých koncentrací v malém objemu ITP zóny<sup>106</sup>. V dalších letech byl tento přístroj využíván pro kontrolu čistoty syntetických biologicky aktivních peptidů po jejich předchozí purifikaci chromatografickými metodami<sup>107</sup>.

V roce 1985–1986 Z. Prusík a V. Kašička ve spolupráci s pracovníky vývojových dílen ÚOCHB vyvinuli

univerzální CE analyzátor nové generace, ve kterém bylo možné v křemenné kapiláře o vnitřním/vnější průměru 50–100/150–375  $\mu\text{m}$  a délce 20–80 cm provádět všechny CE metody. Separace byla sledována on-column UV-absorpčním detektorem při vlnových délkách 206, 254 nebo 280 nm (cit.<sup>108</sup>). V tomto zařízení byly vyvíjeny vhodné podmínky i pro preparativní separace výše uvedené metodou FFZE. Na základě modelu korelace mezi CZE a FFZE byly analytické CZE separace peptidů převáděny na jejich preparativní FFZE purifikace s preparativní kapacitou 30–50  $\text{mg h}^{-1}$  (cit.<sup>109</sup>). Pokročilejší verze tohoto zařízení byla vybavena regulací rychlosti EOF vnějším příčným elektrickým polem, což umožnilo optimalizovat separační účinnost a dobu analýzy<sup>110</sup>. V poslední době byly vyvinuty dvě verze rozhraní pro online spojení laboratorního CE modulu s MS detekcí s elektrosprejovou ionizací analytů (CE-ESI-MS)<sup>111</sup>.

Kromě nové instrumentace V. Kašička a jeho studenti a spolupracovníci (Dušan Koval, Petra Sázelová, Veronika Šolínová, Sille Ehala-Štěpánová, Renáta Konášová) vyvinuli řadu nových CE metod pro separaci, analýzu a fyzikálně-chemickou charakterizaci achirálních i chirálních (bio)molekul. Metoda CZE byla využita pro stanovení konstant acidity (pKa), aktuálních a limitních iontových pohyblivostí a iontových poloměrů nukleotidů<sup>112</sup> a peptidů<sup>113</sup>. Metodou ACE byly studovány nekovalentní interakce molekul<sup>114</sup> a byly separovány enantiomery různých organických molekul a léčiv<sup>115–117</sup>. Od roku 1997 je V. Kašička předsedou Odborné skupiny chromatografie a elektroforézy České společnosti chemické a od roku 2009 je jedním z editorů časopisů *Journal of Separation Science* a *Separation Science Plus*.

### 3.5. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

Zdeněk Stránský na Katedře analytické chemie začal s vývojem instrumentace pro CITP v první polovině 80. let. Vyvinul laboratorní zařízení, na jehož základě byl od roku 1986 v JZD Odra Krmelín vyráběn komerční ITP analyzátor Agrofor. Jak jeho název napovídá, byl využíván zejména v zemědělských a potravinářských analytických laboratořích pro stanovení iontů nízkomolekulárních látek v různých matricích, např. organických a anorganických kyselin v silážích. V roce 1990 byla výroba tohoto zařízení, přejmenovaného na Ionosep, převedena do společnosti Recman, viz <https://www.recman.cz/ionosep/>.

Z. Stránský vyvinul několik CITP metod, např. pro analýzu kationických herbicidů a insekticidů ve vodách a půdách<sup>118</sup> a stanovení metabolitů léčiva trimecainu v krevní plazmě<sup>119</sup>. Ve spolupráci se svými studenty a pozdějšími spolupracovníky, Jurajem Ševčíkem, Karlem Lemrem, Petrem Bednářem, Petrem Bartákem, Janem Petrem a Vítězslavem Maierem, vypracovali řadu důležitých CE metod s UV-absorpční a ESI-MS detekcí pro separaci, analýzu a charakterizaci různých achirálních i chirálních organických sloučenin a léčiv<sup>120,121</sup>, přírodních látek<sup>122</sup>, bílkovin<sup>123</sup> a mikroorganismů<sup>124</sup>.

### 3.6. Lékařská fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

Rovněž již v 80. letech byla CITP využívána i v Ústavu lékařské chemie této fakulty. Zde Vilím Šimánek a jeho spolupracovníci Ivo Válka a Daniela Walterová vyvinuli CITP metody pro stanovení biologicky aktivních látek, např. papaverinu a jiných alkaloidů, v léčebných preparátech<sup>125,126</sup>.

### 3.7. Fakulta chemické a potravinářské technologie Slovenské technické univerzity v Bratislavě

Jozef Polonský a jeho spolupracovnice, Lubica Re-pášová, Jolana Karovičová, Jana Sádecká a Tatiana Buzinkaiová, využili jeden z prvních CITP analyzátorů vyrobených ve výše uvedeném závodě ve Spišské Nové Vsi a vyvinuli řadu CITP metod pro stanovení nízkomolekulárních kationických i anionických látek v různých matricích. V první z nich publikované již v roce 1984 se jednalo o analýzu organických kyselin vzniklých oxidací hydrolytických produktů monosacharidů<sup>127</sup>. Další práce se týkaly stanovení organických i anorganických kyselin<sup>128,129</sup> a barviv<sup>130</sup> v potravinách a nápojích a léčiv v krevním séru<sup>131</sup>.

### 3.8. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

František Kvasnička na Katedře konzervace potravin Fakulty potravinářské a biochemické technologie vypracoval řadu 1D CITP (cit.<sup>132</sup>) a kombinovaných 2D CITP-CZE metod<sup>133</sup> pro separace a analýzy širokého spektra nízkomolekulárních ionogenních látek zahrnujících organické kyseliny<sup>134</sup>, anorganické kationity i anionty<sup>135</sup>, aminokyseliny<sup>136</sup>, biogenní aminy<sup>137</sup>, vitaminy<sup>138</sup>, cukry<sup>139</sup> a sladidla<sup>132</sup> v komplexních matricích potravin, potraviných doplňků a krmiv<sup>135,136</sup> a nápojů<sup>140</sup>. Tyto metody často slouží ke kontrole autenticity potravin a nápojů<sup>141</sup>.

Vladimír Král, David Sýkora, Pavel Řezanka a Kamil Záruba na Katedře analytické chemie Fakulty chemického inženýrství připravili nové speciální mono- a multimodální stacionární a pseudostacionární fáze na bázi porfyrinů, cyklodextrinů, prostých a cyklodextriny modifikovaných zlatých nanočástic a cysteinem modifikovaných stříbrných nanočástic pro metody OT-CEC a CEC (cit.<sup>142,143</sup>). Tyto fáze byly využity pro separace a analýzy různých sloučenin, např. aminokyselin, peptidů, polyaromatických uhlovodíků<sup>144</sup> a enantiomerů derivátů Trögerovýchází<sup>145</sup>.

### 3.9. Fyziologický ústav ČSAV/AV ČR v Praze

Vývoj CE metod na tomto pracovišti zahájil Zdeněk Deyl a spol. na konci 80. let (cit.<sup>146</sup>). V 90. letech, již s využitím CE analyzátoru firmy Beckman-Coulter, společně s tehdejšími doktorandem a pozdějším spolupracovníkem Ivanem Mikšíkem vyvinul řadu CE metod pro analýzu aminokyselin, peptidů, bílkovin, nukleotidů a steroidů. Metodou CZE s fyzikálním gelem propletených lineár-

ních polyakrylamidových řetězců se jim podařilo oddělit různě dlouhé fragmenty kolagenu<sup>147</sup>. Zkoumali rovněž potranslační modifikace (glykosylace a glykace) krevních bílkovin v kapilárách s různými povlaky, např. s kopolymery kapalných krystalů<sup>148</sup>, a aditivu, např. heptansulfonovou kyselinou<sup>149</sup> zvyšujícími selektivitu CE separací peptidů a bílkovin. Kromě výzkumných aktivit Z. Deyl byl v letech 1991–1997 předsedou Odborné skupiny chromatografie a elektroforézy České společnosti chemické a byl editorem několika monografií o elektromigračních i chromatografických metodách<sup>150–153</sup> a mnoha speciálních tematických a sympoziálních čísel časopisů *Journal of Chromatography A* a *Journal of Chromatography B*. I. Mikšík byl koeditorem výše uvedené knihy<sup>152</sup> a editorem bibliografické sekce *Journal of Chromatography A*.

### 3.10. Fakulta životního prostředí Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem

Pavel Janoš vyvinul CZE a CITP metody pro analýzu anorganických iontů, např. CITP stanovení kationtů prvků vzácných zemin v různých technických materiálech<sup>154</sup> a CZE metodu pro separaci a analýzu lanthanoidů a aktinoidů<sup>155</sup>.

### 3.11. Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity v Brně

Zdeněk Glatz a jeho spolupracovníci a studenti (Marta Zeisbergerová-Pelcová, Roman Řemínek, Lenka Michalcová, Hana Nevídalová, Hana Mlčochová, Taťána Brzezická, a další) na Katedře biochemie vypracovali řadu CE metod pro analýzu a charakterizaci enzymů a jejich substrátů a inhibitorů<sup>156,157</sup>. Enzymy byly imobilizovány na vnitřní stěně kapiláry nebo byly smíchávány se substráty a inhibitory uvnitř kapiláry technikou zvanou elektroforetickou zprostředkovaná mikroanalýza (EMMA)<sup>158</sup> nebo příčnou difuzí přes parabolické profily zón zavedených do kapiláry laminárním tokem<sup>159</sup>. Druhou oblastí jejich zájmů byl vývoj dvou módů afinitní CE (ACE), ACE s posunem pohyblivosti a frontální analýza-kapilární elektroforéza, a využití těchto metod pro studium nekovalentních molekulových interakcí bílkovin s nízkomolekulárními ligandy a léčivy<sup>160,161</sup>.

Jan Preisler a jeho spolupracovníci (Tomáš Rejtar, Ondřej Peš a Viktor Kanický) na Katedře chemie se zasloužili o vývoj pokročilé instrumentace CE metod, zejména o jejich spojení s MS detekcí s matricí asistovanou laserovou desorpční ionizací (MALDI)-MS a s MS detekcí s induktivně vázanou plazmou (ICP-MS). Vyvinutá zařízení využili v oblasti metaloproteomiky<sup>162–164</sup>.

Josef Havel a jeho spolupracovníci (Marta Farková, Mirka Spanilá-Bitová a Jiří Pazourek) na téže katedře zavedli využití umělých neuronových sítí pro optimalizaci extrakce tuhou fází a dalších experimentálních podmínek CE metod<sup>165,166</sup>.

### 3.12. 3. lékařská fakulta Univerzity Karlovy v Praze

Petr Tůma a Eva Samcová významně přispěli k vývoji nové instrumentace, metodiky i aplikačních možností kapilárních i mikročipových elektromigračních metod. Ve spolupráci s Františkem Opekarem, Ivanem Jelínkem a Karlem Štulíkem z PřF UK vyvinuli několik verzí univerzálního bezkontaktního vodivostního detektoru<sup>167–169</sup> a duálního vodivostního a spektrofotometrického detektoru<sup>170</sup>. Přispěli k metodickému rozvoji CE technik, např. zkoncentrováním velkých objemů vzorků v kapiláře do krátkých zón s využitím organického rozpouštědla (acetonitrilu) jako koncového elektrolytu ITP systému<sup>171</sup> a zrychlením CE separací kombinací dvou kapilár o různých vnitřních průměrech<sup>172</sup>. Zavedli spojení CE analýz biomolekul a léčiv s jejich elektromembránovou extrakcí<sup>173</sup> nebo mikrodialýzou<sup>174</sup> a vyvinuli speciální mikrodávkový systém umožňující přímé zavádění nanolitrových objemů vzorků do kapiláry z mikrostríkačky, kterou bylo odebráno pouze několik málo mikrolitrů krevní plazmy nebo jiných biologických tekutin<sup>175</sup>. Vyvinutá zařízení a metodické postupy byly využity pro praktické analýzy mnoha typů nízkomolekulárních látek (organických i anorganických kyselin a bází, aminokyselin, sacharidů a léčiv) v komplexních směsích klinických vzorků krevního séra, moči a slin<sup>176</sup> a v potravinách a nápojích<sup>177</sup>.

### 3.13. Farmaceutická fakulta Univerzity Komenského v Bratislavě

Peter Mikuš, Katarina Maráková a Juraj Piešťanský, absolventi doktorských studií ve skupině D. Kanianského na PřF Univerzity Komenského v Bratislavě vytvořili novou silnou skupinu CE metod na Katedře farmaceutické analýzy a nukleární farmacie této fakulty. V posledních 20 letech vypracovali řadu nových CITP, CZE a kombinovaných CITP-CZE (cit.<sup>178</sup>) metod, často online spojených s ESI-MS detekcí<sup>179,180</sup>, a využili je pro analýzu chirálních i achirálních léčiv, metabolitů a biomarkerů ve slinách a v moči<sup>181</sup>, pro stanovení vitaminů ve výživových doplňcích<sup>182</sup> a pro kontrolu čistoty a kvantitativní analýzu peptidových hormonů ve farmaceutických preparátech<sup>183</sup>.

### 3.14. Farmaceutická fakulta Univerzity Karlovy v Hradci Králové

Vladimír Jokl, Miroslav Polášek, Marie Pospíšilová a Pavel Jáč na Katedře analytické chemie vyvinuli několik CE metod pro kvalitativní i kvantitativní analýzu různých léků, např. CITP stanovení nesteroidních protizánětlivých léčiv<sup>184</sup>, anionických protiiontů bazických léčiv<sup>185</sup> a polyolových sloučenin sorbitolu a xylitolu v léčivých preparátech<sup>186</sup>. CZE metodu využili pro rychlou analýzu glukosaminu v léčivých a potravinových doplňcích<sup>187</sup> a metodou micelární CEKC analyzovali nečistoty v indometacinu<sup>188</sup>.

### 3.15. Fakulta chemicko-technologická Univerzity Pardubice

Pavel Jandera a jeho spolupracovníci na Katedře analytické chemie se zabývali hlavně vývojem a využitím HPLC metod<sup>2</sup>, ale částečně se věnovali i rozvoji CE techniky. Petr Česla vyvinul nové rozhraní pro přímé spojení LC a CE metod v 2D separační systém a společně s Pavlem Janderou, Janem Fischerem a Václavem Staňkem využili 1D-CE a 2D-LC-CEKC metody pro separaci achirálních i chirálních nízkomolekulárních sloučenin, např. aromatických sulfonových kyselin<sup>189</sup>, fenolových kyselin a flavonoidů<sup>190</sup> a benzothiazolových derivátů aminokyselin<sup>191</sup>.

### 3.16. Agronomická fakulta Mendelovy Univerzity v Brně

René Kizek, Markéta Vaculovičová, Adam Vojtěch, Mirek Macka a jejich spolupracovníci na Katedře chemie a biochemie této fakulty využívali kapilární i čipovou elektroforézu zejména k separaci a analýze kvantových teček<sup>192</sup> a jiných nanomateriálů<sup>193</sup> a ke studiu jejich konjugátů a komplexů s peptidy<sup>194</sup>, DNA<sup>195</sup> a metaloproteiny<sup>196</sup>. Po „přestupu“ z výše uvedeného ÚIACH zde působil i Jan Pospíchal a jeho spolupracovnice Eliška Glovinová. Zabývali se např. vývojem CIEF bez nosných amfolytů<sup>197</sup> a CITP analýzou těžkých kovů po jejich předchozím zkoncentrování metodou gradientové ligandové fokuse<sup>198</sup>.

## 4. Závěr

Mnoho výše uvedených příkladů ukazuje, že i přes relativně malý počet obyvatel čeští a slovenští výzkumní pracovníci velmi významně přispěli k rozvoji teorie, instrumentace a metodiky elektromigračních metod. Úspěchem je, že vyvinutá zařízení a metodické postupy byly široce využity pro prakticky významné rychlé vysokoúčinné separace, vysoce citlivé analýzy, izolace, purifikace a fyzikálně chemické a biochemické charakterizace širokého spektra (bio)molekul a (bio)částic. Elektromigrační metody významně přispěly k poznání chemických i fyzikálních vlastností a biologických funkcí (bio)molekul a (bio)částic a k objasnění procesů probíhajících v živých organismech i neživých systémech. Celkově výzkum českých a slovenských vědců významně posunul elektromigrační metody k rychlejší separacím, vyšším separačním účinnostem a citlivostem a širšímu využití těchto metod pro analytické i preparativní účely v mnoha oblastech výzkumu i průmyslové a zemědělské praxe.

Úspěšný rozvoj elektromigračních metod v Česku i na Slovensku lze očekávat i v příštích letech, neboť ve většině výše uvedených pracovišť je řada schopných mladých vědeckých pracovníků připravených pokračovat ve špičkovém výzkumu, vývoji i využití těchto metod.

*Práce byla podpořena Akademií věd České republiky, projekt č. RVO 61388963.*

## LITERATURA

1. Kašička V.: Chem. Listy. 91, 320 (1997).
2. Jandera P.: J. Sep. Sci. 29, 465 (2006).
3. Gebauer P., Foret F.: Chem. Listy 114, 3 (2020).
4. Křivánková L.: Chem. Listy 114, 10 (2020).
5. Chocholouš P., Polášek M., Kubáň P., Foret F.: Chem. Listy 115, 658 (2021).
6. Reuss F. F.: Memoires de la Societe imperiale des naturalistes de Moscou 2, 327 (1809).
7. Kohlrausch F.: Ann. Phys. 298, 209 (1897).
8. Tiselius A.: Trans. Faraday Soc. 33, 524 (1937).
9. Hjertén S.: Ark. Kemi 13, 151 (1958).
10. Hjertén S.: Chromatogr. Rev. 9, 122 (1967).
11. Heyrovský J.: Lond. Edinb. Dubl. Phil. Mag. 45, 303 (1923).
12. Gordon A. H., Keil B., Šebesta K.: Nature 164, 498 (1949).
13. Gordon A. H., Keil B., Šebesta K., Knessl O., Šorm F.: Collect. Czech. Chem. Commun. 15, 1 (1950).
14. Mikeš O.: Collect. Czech. Chem. Commun. 22, 831 (1957).
15. Mikeš O., Holeyšovský V.: Collect. Czech. Chem. Commun. 23, 524 (1958).
16. Prusík Z., Keil B.: Collect. Czech. Chem. Commun. 25, 2049 (1960).
17. Jokl V.: J. Chromatogr. A 13, 451 (1964).
18. Vacík J., Fidler Z.: Collect. Czech. Chem. Commun. 36, 2342 (1971).
19. Martin A. J. P., Everaerts F. M.: Anal. Chim. Acta 38, 233 (1967).
20. Haglund H.: Science Tools 17, 2 (1970).
21. Everaerts F. M., Vacík J., Verheggen T. P. E. M., Zuska J.: J. Chromatogr. A 49, 262 (1970).
22. Gaš B., Demjaněnko M., Vacík J.: J. Chromatogr. A 192, 253 (1980).
23. Gaš B., Zuska J., Coufal P., van de Goor T.: Electrophoresis 23, 3520 (2002).
24. Fidler V., Vacík J., Fidler Z.: J. Chromatogr. A 320, 167 (1985).
25. Gaš B., Vacík J., Zelenský I.: J. Chromatogr. A 545, 225 (1991).
26. Hruška V., Gaš B.: Electrophoresis 28, 3 (2007).
27. Hruška V., Jaroš M., Gaš B.: Electrophoresis 27, 984 (2006).
28. Gaš B., Bravenec P.: Electrophoresis 42, 1291 (2021).
29. Malý M., Dohunová M., Dvořák M., Gerlero G. S., Kler P. A., Hruška V., Dubský P.: Electrophoresis 40, 683 (2019).
30. Gaš B.: TrAC, Trends Anal. Chem. 165, 117134 (2023).
31. Gaš B., Hruška V., Dittmann M., Bek F., Witt K.: J. Sep. Sci. 30, 1435 (2007).

32. Hruška V., Jaroš M., Gaš B.: *Electrophoresis* 27, 513 (2006).
33. Malý M., Boublík M., Pocrnic M., Ansorge M., Lorníčková K., Svobodová J., Hruška V., Dubský P., Gaš B.: *Electrophoresis* 41, 493 (2020).
34. Novotný T., Gaš B.: *Electrophoresis* 42, 881 (2021).
35. Jelínek I., Snopek J., Smolková-Keulemansová E.: *J. Chromatogr. A* 405, 379 (1987).
36. Snopek J., Jelínek I., Smolková-Keulemansová E.: *J. Chromatogr. A* 411, 153 (1987).
37. Snopek J., Jelínek I., Smolková-Keulemansová E.: *J. Chromatogr. A* 609, 1 (1992).
38. Coufal P., Pacáková V., Štulík K.: *Electrophoresis* 28, 3379 (2007).
39. Pacáková V., Coufal P., Štulík K.: *J. Chromatogr. A* 834, 257 (1999).
40. Křížek T., Coufal P., Tesařová E., Sobotníková J., Bosáková Z.: *J. Sep. Sci.* 33, 2458 (2010).
41. Hořejší V.: *Anal. Biochem.* 112, 1 (1981).
42. Hořejší V., Tichá M.: *J. Chromatogr. B* 376, 49 (1986).
43. Boček P., Deml M., Janák J.: *J. Chromatogr. A* 106, 283 (1975).
44. Deml M., Boček P., Janák J.: *J. Chromatogr. A* 109, 49 (1975).
45. Ryšlavý Z., Boček P., Deml M., Janák J.: *J. Chromatogr. A* 147, 369 (1978).
46. Boček P., Deml M., Janák J.: *J. Chromatogr. A* 156, 323 (1978).
47. Boček P., Gebauer P., Deml M.: *J. Chromatogr. A* 217, 209 (1981).
48. Gebauer P., Beckers J. L., Boček P.: *Electrophoresis* 23, 1779 (2002).
49. Gebauer P., Boček P.: *J. Chromatogr. A* 267, 49 (1983).
50. Gebauer P., Boček P.: *Anal. Chem.* 69, 1557 (1997).
51. Gebauer P., Borecká P., Boček P.: *Anal. Chem.* 70, 3397 (1998).
52. Dolník V., Deml M., Boček P.: *J. Chromatogr. A* 320, 89 (1985).
53. Pospíchal J., Deml M., Gebauer P., Boček P.: *J. Chromatogr. A* 470, 43 (1989).
54. Klepárník K., Malá Z., Boček P.: *Electrophoresis* 22, 783 (2001).
55. Klepárník K., Otevřel M.: *Electrophoresis* 31, 879 (2010).
56. Krenkova J., Kleparnik K., Luksch J., Foret F.: *Electrophoresis* 40, 2263 (2019).
57. Vespalec R., Boček P.: *Chem. Rev.* 100, 3715 (2000).
58. Horáková H., Grüner B., Vespalec R.: *J. Chromatogr. A* 1051, 227 (2004).
59. Krivánková L., Foret F., Gebauer P., Boček P.: *J. Chromatogr. A* 390, 3 (1987).
60. Krivánková L., Gebauer P., Thormann W., Mosher R. A., Boček P.: *J. Chromatogr. A* 638, 119 (1993).
61. Krivánková L., Boček P.: *J. Chromatogr. B* 689, 13 (1997).
62. Krivánková L., Pantůčková P., Boček P.: *J. Chromatogr. A* 838, 55 (1999).
63. Foret F., Deml M., Kahle V., Boček P.: *Electrophoresis* 7, 430 (1986).
64. Foret F., Thompson T. J., Vouros P., Karger B. L., Gebauer P., Boček P.: *Anal. Chem.* 66, 4450 (1994).
65. Zhang B., Liu H., Karger B. L., Foret F.: *Anal. Chem.* 71, 3258 (1999).
66. Tomáš R., Koval M., Foret F.: *J. Chromatogr. A* 1217, 4144 (2010).
67. Tycova A., Prikryl J., Foret F.: *Electrophoresis* 37, 924 (2016).
68. Foret F., Datinská V., Voráčková I., Novotný J., Gheibi P., Berka J., Astier Y.: *Anal. Chem.* 91, 7047 (2019).
69. Kubán P., Strieglerová L., Gebauer P., Boček P.: *Electrophoresis* 32, 1025 (2011).
70. Míková B., Dvořák M., Ryšavá L., Kubán P.: *Anal. Chem.* 92, 7171 (2020).
71. Ryšavá L., Dvořák M., Kubán P.: *Angew. Chem. Int. Ed.* 60, 6068 (2021).
72. Greguš M., Foret F., Kubán P.: *J. Chromatogr. A* 1427, 177 (2016).
73. Kubán P., Dvořák M., Kubán P.: *Anal. Chim. Acta* 1075, 1 (2019).
74. Boček P., Deml M., Gebauer P., Dolník V.: *Analytical Isotachophoresis*. Verlag Chemie, Weinheim 1988.
75. Foret F., Krivánková L., Boček P.: *Capillary Zone Electrophoresis*. Verlag Chemie, Weinheim 1993.
76. Šlais K., Friedl Z.: *J. Chromatogr. A* 661, 249 (1994).
77. Šlais K.: *J. Chromatogr. A* 684, 149 (1994).
78. Šlais K.: *Electrophoresis* 29, 2451 (2008).
79. Horká M., Karásek P., Roth M., Šlais K.: *Electrophoresis* 38, 1260 (2017).
80. Karásek P., Horká M., Šlais K., Planeta J., Roth M.: *J. Chromatogr. A* 1539, 1 (2018).
81. Horká M., Karásek P., Roth M., Růžička F.: *Anal. Bioanal. Chem.* 410, 167 (2018).
82. Horká M., Šalplachta J., Karásek P., Roth M.: *Food Chem.* 377, 131986 (2022).
83. Thormann W., Caslavská J., Molteni S., Chmelik J.: *J. Chromatogr. A* 589, 321 (1992).
84. Chmelik J.: *J. Chromatogr. A* 539, 111 (1991).
85. Stankoviansky S., Čičmanec P., Kaniansky D.: *J. Chromatogr. A* 106, 131 (1975).
86. Kaniansky D., Marák J.: *J. Chromatogr. A* 498, 191 (1990).
87. Kaniansky D., Marák J., Masár M., Iványi F., Madajová V., Šimuničová E.: *J. Chromatogr. A* 772, 103 (1997).
88. Zelenský I., Kaniansky D., Havaši P., Verheggen T. P. E. M., Everaerts F. M.: *J. Chromatogr. A* 470, 155 (1989).
89. Kaniansky D., Marák J., Rajec P., Švec A., Koval M., Lůčka M., Sabanoš G.: *J. Chromatogr. A* 470, 139 (1989).

90. Kaniansky D., Masár M., Bielčíková J., Iványi F., Eisenbeiss F., Stanislawski B., Grass B., Neyer A., Jöhnc M.: *Anal. Chem.* 72, 3596 (2000).
91. Zelenský I., Zelenská V., Kaniansky D., Havaši P., Lednárová V.: *J. Chromatogr. A* 294, 317 (1984).
92. Zelenský I., Zelenská V., Kaniansky D.: *J. Chromatogr. A* 390, 111 (1987).
93. Madajová V., Marák J., Kaniansky D., Šimuničová E.: *Chem. Listy* 86, 381 (1992).
94. Madajová V., Šimuničová E., Kaniansky D., Marák J., Zelenská V.: *Electrophoresis* 26, 2664 (2005).
95. Hutta M., Šimuničová E., Kaniansky D., Tkáčová J., Brtko J.: *J. Chromatogr. A* 470, 223 (1989).
96. Hutta M., Marák J., Kaniansky D.: *J. Chromatogr. A* 509, 271 (1990).
97. Marák J., Laštinec J., Kaniansky D., Madajová V.: *J. Chromatogr. A* 509, 287 (1990).
98. Marák J., Staňová A., Gajdoštinová S., Škultéty L., Kaniansky D.: *Electrophoresis* 32, 1273 (2011).
99. Staňová A., Marák J., Rezelí M., Pager C., Kilár F., Kaniansky D.: *J. Chromatogr. A* 1218, 8701 (2011).
100. Masár M., Žuborová M., Bielčíková J., Kaniansky D., Jöhnc M., Stanislawski B.: *J. Chromatogr. A* 916, 101 (2001).
101. Bodor R., Madajová V., Kaniansky D., Masár M., Jöhnc M., Stanislawski B.: *J. Chromatogr. A* 916, 155 (2001).
102. Masár M., Kaniansky D., Bodor R., Jöhnc M., Stanislawski B.: *J. Chromatogr. A* 916, 167 (2001).
103. Masár M., Sydes D., Luc M., Kaniansky D., Kuss H. M.: *J. Chromatogr. A* 1216, 6252 (2009).
104. Prusík Z.: *J. Chromatogr. A* 91, 867 (1974).
105. Kašička V.: *Chem. Listy* 118, 579 (2024).
106. Kašička V., Prusík Z.: *J. Chromatogr. B* 273, 117 (1983).
107. Kašička V., Prusík Z.: *J. Chromatogr. B* 569, 123 (1991).
108. Prusík Z., Kašička V., Staněk S., Kuncová G., Hayer M., Vrkoč J.: *J. Chromatogr. A* 390, 87 (1987).
109. Kašička V., Prusík Z., Pospíšek J.: *J. Chromatogr. A* 608, 13 (1992).
110. Kašička V., Prusík Z., Sázelová P., Chiari M., Mikšík I., Deyl Z.: *J. Chromatogr. B* 741, 43 (2000).
111. Konášová R., Koval D., Dytřtová Jaklová J., Kašička V.: *J. Chromatogr. A* 1568, 197 (2018).
112. Šolínová V., Kašička V., Koval D., Česnek M., Holý A.: *Electrophoresis* 27, 1006 (2006).
113. Šolínová V., Kašička V.: *Electrophoresis* 34, 2655 (2013).
114. Ehala S., Marklík E., Toman P., Kašička V.: *Electrophoresis* 31, 702 (2010).
115. Koval D., Severa L., Adriaenssens L., Vávra J., Teplý F., Kašička V.: *Electrophoresis* 32, 2683 (2011).
116. Sázelová P., Šolínová V., Schimperková T., Jiráček J., Kašička V.: *J. Sep. Sci.* 45, 3328 (2022).
117. Šolínová V., Kašička V., Sázelová P., Holý A.: *Electrophoresis* 30, 2245 (2009).
118. Stránský Z.: *J. Chromatogr. A* 320, 219 (1985).
119. Stránský Z., Chmela Z., Peč P., Šafařík L.: *J. Chromatogr. B* 342, 167 (1985).
120. Ševčík J., Stránský Z., Ingelse B. A., Lemr K.: *J. Pharm. Biomed. Anal.* 14, 1089 (1996).
121. Barták P., Bednář P., Friedecký D., Haviger A., Ševčík J.: *J. Chromatogr. B* 758, 323 (2001).
122. Bednář P., Papoušková B., Müller L., Barták P., Stávek J., Pavloušek P., Lemr K.: *J. Sep. Sci.* 28, 1291 (2005).
123. Müller L., Barták P., Bednář P., Fryšová I., Ševčík J., Lemr K.: *Electrophoresis* 29, 2088 (2008).
124. Petr J., Rýparová O., Ranc V., Hinnerová P., Znaležiona J., Kowalska M., Knob R., Maier V., Frébort I., Lemr K., Ševčík J.: *Electrophoresis* 30, 444 (2009).
125. Válka I., Walterová D., Šimánek V.: *J. Chromatogr. A* 350, 336 (1985).
126. Válka I., Šimánek V.: *J. Chromatogr.* 445, 258 (1988).
127. Repášová L., Polonský J., Košík M., Vodný S.: *J. Chromatogr. A* 286, 347 (1984).
128. Karovičová J., Drdák M., Polonský J.: *J. Chromatogr. A* 509, 283 (1990).
129. Sádecká J., Polonský J.: *J. Chromatogr. A* 834, 401 (1999).
130. Karovičová J., Polonský J., Příbela A., Šimko P.: *J. Chromatogr. A* 545, 413 (1991).
131. Buzinkaiová T., Skacáni I., Netriová J.: *Pharmazie* 50, 799 (1995).
132. Kvasnička F.: *J. Chromatogr. A* 390, 237 (1987).
133. Kvasnička F., Jaroš M., Gaš B.: *J. Chromatogr. A* 916, 131 (2001).
134. Dušek M., Kvasnička F., Moravcová J.: *Chem. Listy* 98, 418 (2004).
135. Blatný P., Kvasnička F.: *J. Chromatogr. A* 834, 419 (1999).
136. Kvasnička F.: *J. Chromatogr. A* 838, 191 (1999).
137. Kvasnička F., Voldřich M.: *J. Chromatogr. A* 1103, 145 (2006).
138. Kvasnička F., Humpolíkova P., Volkmerová D.: *Potravinarske Vedy* 6, 259 (1988).
139. Kvasnička F., Parkin G., Harvey C.: *Int. Sugar. J.* 95, 451 (1993).
140. Kvasnička F., Voldřich M.: *J. Chromatogr. A* 891, 175 (2000).
141. Kvasnička F.: *J. Sep. Sci.* 28, 813 (2005).
142. Sýkora D., Kašička V., Mikšík I., Řezanka P., Záruba K., Matějka P., Král V.: *J. Sep. Sci.* 33, 372 (2010).
143. Sýkora D., Záruba K., Butnariu M., Tatar A., Pham H. M., Studenovský M., Řezanka P., Král V.: *J. Sep. Sci.* 43, 4178 (2020).
144. Řezanka P., Ehala S., Koktan J., Sýkora D., Žvátora P., Vosmanská M., Král V., Mikšík I., Čefovský V., Kašička V.: *J. Sep. Sci.* 35, 73 (2012).
145. Řezanka P., Ryšavá H., Havlík M., Jakubek M., Sýkora D., Král V.: *Chirality* 25, 379 (2013).
146. Deyl Z., Rohlíček V., Adam M.: *J. Chromatogr. A* 480, 371 (1989).

147. Deyl Z., Mikšík I.: *J. Chromatogr. A* 698, 369 (1995).
148. Mikšík I., Charvátová J., Eckhardt A., Deyl Z.: *J. Chromatogr. B* 800, 155 (2004).
149. Mikšík I., Charvátová J., Eckhardt A., Cserhati T., Forgacs E., Deyl Z.: *J. Chromatogr. B* 800, 161 (2004).
150. Deyl Z.: *Electrophoresis: A Survey of Techniques and Applications*. Pt. A: Techniques. str. 1–390. Elsevier, Amsterdam 1979.
151. Deyl Z.: *Electrophoresis: A Survey of Techniques and Applications*. Pt. B: Applications. Elsevier, Amsterdam 1983.
152. Deyl Z., Mikšík I., Tagliaro F., Tesařová E.: *Advanced Chromatographic and Electromigration Methods in BioSciences*. Elsevier, Amsterdam 1998.
153. Deyl Z., Švec F. (ed.): *Capillary Electrochromatography*, str. 1–440. Elsevier, Amsterdam 2001.
154. Jánoš P., Jandlová J.: *Chem. Anal.* 36, 525 (1991).
155. Jánoš P.: *Electrophoresis* 24, 1982 (2003).
156. Glatz Z.: *J. Chromatogr. B* 841, 23 (2006).
157. Řemínek R., Zeisbergerová M., Langmajerová M., Glatz Z.: *Electrophoresis* 34, 2705 (2013).
158. Zeisbergerová M., Adámková A., Glatz Z.: *Electrophoresis* 30, 2378 (2009).
159. Bržezická T., Kohútová L., Glatz Z.: *J. Sep. Sci.* 47, 2400157 (2024).
160. Michalcová L., Glatz Z.: *J. Sep. Sci.* 38, 325 (2015).
161. Nevídalová H., Michalcová L., Glatz Z.: *Electrophoresis* 40, 625 (2019).
162. Preisler J., Hu P., Rejtar T., Moskovets E., Karger B. L.: *Anal. Chem.* 74, 17 (2002).
163. Pěš O., Jungová P., Vyhnanek R., Vaculovič T., Kanický V., Preisler J.: *Anal. Chem.* 80, 8725 (2008).
164. Tomalová I., Foltýnová P., Kanický V., Preisler J.: *Anal. Chem.* 86, 647 (2014).
165. Farková M., Penamendez E. M., Havel J.: *J. Chromatogr. A* 848, 365 (1999).
166. Spanilá M., Pazourek J., Farková M., Havel J.: *J. Chromatogr. A* 1084, 180 (2005).
167. Tůma P., Opekar F., Štulík K.: *Electrophoresis* 23, 3718 (2002).
168. Tůma P., Samcová E., Štulík K.: *Electroanalysis* 23, 1870 (2011).
169. Tůma P.: *J. Sep. Sci.* 40, 940 (2017).
170. Zikmundová J., Tůma P., Opekar F.: *J. Sep. Sci.* 31, 353 (2008).
171. Tůma P.: *J. Chromatogr. A* 1345, 207 (2014).
172. Pavlíček V., Tůma P., Matějčková J., Samcová E.: *Electrophoresis* 35, 956 (2014).
173. Opekar F., Tůma P.: *Talanta* 254, 124149 (2023).
174. Tůma P.: *Anal. Chim. Acta* 1287, 342113 (2024).
175. Opekar F., Tůma P.: *Anal. Chim. Acta* 1042, 133 (2018).
176. Tůma P.: *Anal. Chim. Acta* 1225, 340161 (2022).
177. Tůma P., Opekar F., Dlouhý P.: *Food Chem.* 375, 131858 (2022).
178. Piešťanský J., Maráková K., Veizerová L., Galba J., Mikuš P.: *Anal. Chim. Acta* 826, 84 (2014).
179. Piešťanský J., Maráková K., Koval M., Mikuš P.: *J. Chromatogr. A* 1358, 285 (2014).
180. Maráková K., Piešťanský J., Zelinková Z., Mikuš P.: *Molecules* 22, (2017).
181. Mikuš P., Maráková K.: *Electrophoresis* 30, 2773 (2009).
182. Maráková K., Piešťanský J., Havránek E., Mikuš P.: *Pharmazie* 69, 663 (2014).
183. Stefanik O., Mikus P., Piestansky J.: *Electrophoresis* 46, 636 (2025).
184. Pospíšilová M., Jokl V., Polášek M., Mokrá J.: *J. Pharm. Biomed. Anal.* 13, 1147 (1995).
185. Polášek M., Pospíšilová M., Urbánek M.: *J. Pharm. Biomed. Anal.* 23, 135 (2000).
186. Pospíšilová M., Polášek M., Jokl V.: *J. Pharm. Biomed. Anal.* 17, 387 (1998).
187. Jác P., Los P., Spáčil Z., Pospíšilová M., Polášek M.: *Electrophoresis* 29, 3511 (2008).
188. Riasová P., Doubková D., Pincová L., Jung O., Polášek M., Jác P.: *Electrophoresis* 39, 2550 (2018).
189. Fischer J., Jandera P., Česla P., Staněk V.: *J. Sep. Sci.* 26, 1035 (2003).
190. Česla P., Fischer J., Jandera P.: *Electrophoresis* 33, 2464 (2012).
191. Nováková Z., Pejchal V., Fischer J., Česla P.: *J. Sep. Sci.* 40, 798 (2017).
192. Stanisavljevic M., Vaculovicova M., Kizek R., Adam V.: *Electrophoresis* 35, 1929 (2014).
193. Adam V., Vaculovicova M.: *Electrophoresis* 38, 2389 (2017).
194. Janu L., Stanisavljevic M., Krizkova S., Sobrova P., Vaculovicova M., Kizek R., Adam V.: *Electrophoresis* 34, 2725 (2013).
195. Stanisavljevic M., Chomoucka J., Dostalová S., Krizkova S., Vaculovicova M., Adam V., Kizek R.: *Electrophoresis* 35, 2587 (2014).
196. Pavelicova K., Vanicková L., Haddad Y., Nejdil L., Zitka J., Kociova S., Mravec F., Vaculovic T., Macka M., Vaculovicova M., Adam V.: *Int. J. Biol. Macromol.* 170, 53 (2021).
197. Pospíchal J., Glovinová E.: *J. Chromatogr. A* 918, 195 (2001).
198. Glovinová E., Pospíchal J.: *Chromatographia* 76, 313 (2013).

**V. Kašička** (*Institute of Organic Chemistry and Biochemistry of the Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic*): **Research and Development of Electromigration Methods in Czechoslovakia, Czechia and Slovakia from their Beginnings to the Present Days**

This article presents history of research and development of electromigration methods (EMMs) in Czechoslovakia, Czechia and Slovakia from their beginnings to the present days. After a short introduction to EMMs in general, the beginnings of the electromigration methods in the world and the first electrophoretic experiments in Czechoslovakia in the late 1940s and in 1950s are described. Then, in the approximately chronological order, the research and developments of EMMs in particular research groups at the colleges of the Czech and Slovak universities and at the institutes of the Czechoslovak, Czech and Slovak Academies of Sciences are presented. The most important results achieved by these groups are shown with references to the original articles in the prestigious international journals. All aspects of EMMs, fundamental theoretical research, construction of new instruments and detectors, and methodological developments are considered and the representative applications of EMMs for fast high-efficient separation, high-sensitive analysis, isolation, and physicochemical characterization of various types of (bio)molecules and (bio)particles are demonstrated. All the presented results confirm that the Czech and Slovak specialists significantly contributed to the great progress of the EMMs both in their early days and in recent times.

**Keywords:** electrophoresis, isotachopheresis, isoelectric focusing, affinity electrophoresis, electrokinetic chromatography, electrochromatography

*Acknowledgements*

*This work was supported by the Czech Academy of Sciences, project no. RVO 61388963.*



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

## JAK KVĚT UMRLČÍ ZAHÁNÍ ZLÉ DUCHY, ALE STARÁ SE O PŘÁTELSTVÍ

MICHAL JURÁŠEK<sup>a</sup>, LUBOMÍR OPLETAL<sup>b</sup>, LUCIE CAHLÍKOVÁ<sup>b</sup> a PAVEL DRAŠAR<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ústav chemie přírodních látek, Vysoká škola chemicko-technologická, Technická 5, 166 28 Praha 6-Dejvice, <sup>b</sup> Katedra farmakognozie a farmaceutické botaniky, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, Univerzita Karlova, Heyrovského 1203, 500 05 Hradec Králové, Česká republika  
 michal.jurasek@vscht.cz, opletal@faf.cuni.cz, cahlikova@faf.cuni.cz, drasarp@vscht.cz

Došlo 9.1.26, přijato 23.1.26.

Článek popisuje historické kořeny použití barvínku menšího, jeho nejdůležitější obsahové látky a jejich biologickou aktivitu.

Klíčová slova: barvíněk, vinka alkaloidy, brčál, vinkamin, vinblastin



Obr. 1. Barvíněk menší  
*Vinca minor* L. (cit.<sup>2</sup>)

Před časem jsme publikovali přehled o alkaloidech z rodu *Vinca*<sup>1</sup>. Rozsáhlá práce na 70 stranách popisuje extensivně všechny zástupce rodu z celé zeměkoule s tím, že uvádí botanické aspekty zástupců rodu, včetně 202 identifikovaných alkaloidů. Zkusme se podívat na náš jediný barvíněk třeba na úvod i z historizujícího a možná malinko populárnějšího hlediska. Barvíněk menší *Vinca minor* L. (viz obr. 1, cit.<sup>2</sup>); čeleď *Apocynaceae*, rod *Vinca*), štiplavé, hořké chuti, popisuje Presl jako ozdobnou bylinu<sup>3</sup>: ... a proto w zahradách obyčejná, kdežto mívá květ modrý, bílý, růžový nebo nachový, někdy i plný. Nať hořká, druhdy w lékařství se potřebovala. We Wlaših ozdoby ratolistkami mrtvé děti, a protož slowe také umrlčí kwet (fior di morto) ... Přidával se do nápojů lásky, roztroušený pod postelí měl zvyšovat sexuální touhu. Starý tradiční lidový název z Francie a Anglie byl „Čarodějova fialka“ (Sorcerer's Violet). Byl považován za oblíbenou květinu „moudrých osob“, někdy nazývaných čarodějnice, pro výrobu kouzel a lektvarů lásky a říkalo se, že dokáže vymítat zlé duchy<sup>4</sup>. Květy proto sloužily jako ochranný talisman, jenž Anglo-

sasové zavěšovali v domácnostech k zahánění zmíněných zlých duchů. Navzdory jedovatosti rostliny anglický botanik ze 17. století Nicholas Culpeper tvrdil, že listy, které muž a žena snědí společně, mezi nimi vyvolávají lásku a mladé vrcholky zpracované na džem jsou dobré proti nočním můrám<sup>5</sup>. Na svatbách na západní Ukrajině nevěsta i ženich nosí na hlavě věnce z barvínku. Rostlina se svými tuhými, lesklými, stálezelenými listy (které přečkají jak mráz, tak vysoké teploty) symbolizuje věčnou podstatu jejich lásky a manželských slibů<sup>6</sup>.

O barvínku se dočteme v literatuře dávné. Němci jej brali jako květ nesmrtnosti a nazývali Singrün<sup>7</sup> (Sinngrün, ze singrüene, vzezelené, singruoni, též Ingrün, Wintergrün, a zkomolenina Beerwinck), Francouzi la pervenche; a tvrdilo se poeticky, že se stará o přátelství<sup>8</sup>, neboť jeho stonky se proplétají, poutají (vincolo); ve Francii byl zván i „toute-saine“, všelék. V češtině se setkáme s termínem brčál menší<sup>9</sup>, ale nalézáme v literatuře i termín barvíněk (zuzozelen<sup>10</sup>, zymostráž<sup>11</sup>). Náš oblíbený Mattioli používá termíny barvíněk, zymostráž<sup>12</sup> (obr. 2). V angličtině nalezneme jména jako dwarf periwinkle, lesser periwinkle, vinca, running-myrtle, blue buttons, devil's eye, joy on the ground, sorcerer's violet.

Jak praví klasici, roste i tam, kde se jinému nechce: *Brčál (Brčál menšj) w Čechách bogne roste, a gest obrazem naděge a politiky newjdané, neb pod ostatnjmi bylinami roste, a proti naděgi tam se často ukáže, kde by sme*

Barvíněk na Prach ztlučeny a s wjnem trpčým přigatý, zastawuge plynutj štícha, Duplawicy, Uemoc červenau, y křwj chrčánj. Listj s Octem přigaté, dobré gest proti vsstřnutj gedowatých žadů / křečjž Aspides flowau.

Obr. 2. Mattioli<sup>12</sup> o barvínku

geg neyméně očekáwali<sup>13</sup>, anebo *Wšak barwinek, hle ! polokleslé rummy Opřadá věčně ramenama swýma, Jak nadějná nám w době žalné dумы Myslénka srdce útěchou objímá*<sup>14</sup>. O biologii a dalších zajímavostech se dozvíme z článku P. Karlíka<sup>15</sup>.

Zatímco termín brčál kromě barvínku značí v češtině něco intenzivně zeleného, termín barvíněk, běžný ve většině slovanských jazyků, jakkoliv je to návodné, nesouvisí s barvou, ale je to zkomolenina německého výrazu „Beerwinck“ vzešlého zkomolením latinského „pervinca“<sup>16</sup> (latinsky *stále zelený* je *sempervirens*). Jméno barvíněk či barvíněk (barvíněk plamínek) je však v staré češtině použit i u rodu *Clematis*<sup>17</sup>, což uvádí i Mattioli<sup>12</sup>.

Historicky se v lidovém léčitelství používá k léčbě vysokého krevního tlaku, cukrovky<sup>18,19</sup>, problémů s krevním oběhem a k podpoře metabolismu. V Indii se šťáva z listů používala k léčbě bodnutí vosami. Na Havaji se rostlina vařila na obklad k zastavení krvácení. V Číně (小蔓长春花 *hua ye man chang chun hua*) se používal jako adstringentní, diuretický lék a lék proti kašli. Ve Střední a Jižní Americe se používal jako domácí lék na nachlazení k úlevě od plicních problémů a zánětu, stejně jako proti bolesti v krku<sup>20</sup>.

Bylo také prokázáno, že zlepšuje další stavy, jako jsou záněty (cystitida, gastritida, enteritida) a průjem. Zevně se používají rozdrcené listy při bolestech v krku, krvácení z nosu, modřinách, abscesech a ekzémeh<sup>21</sup>. Mezi příznaky intoxikace může patřit hypotenze, bradykardie, paralýza kosterního svalstva a křeče. Při dlouhodobém užívání mohou být obsažené alkaloidy neurotoxicke<sup>19,22</sup>. Pokud není v textu uvedeno jinak, jsou údaje o farmakologické aktivitě z databáze CAS SciFinder.

Barvínky (rod obsahuje 6 druhů) obsahují malé množství alkaloidů a jsou považovány za mírně jedovaté, ačkoli není znám žádný případ otravy. Průměrný obsah alkaloidů v nati barvínku menšího je asi 0,3 % (cit.<sup>23</sup>) až 0,68 % (cit.<sup>24</sup>), ale i 1,4 % (cit.<sup>25</sup>). Mezi 60 alkaloidy izolovanými z *V. minor* byly identifikovány mj. vinkamin, vincin, isovinkamin, vinkamidin, vinkaminorein. Dnes se droga oficiálně používá pouze k izolaci indolového alka-

loidu vinkaminu<sup>19</sup>. Na bázi vinka alkaloidů byly syntetizovány i některé další biologicky aktivní substance, jako například vinpocetin (bravinton, cavinton, ceractin, ultravinca, vinporal), který je mj. označován jako slibný kandidát na léčení Alzheimerovy choroby<sup>20</sup>.

Výsledky ukazují, že prvý izolovaný a nejvíce zastoupený indolový alkaloid **vinkamin** ((+)-vincamine, pervone, pervincamine, minorin, novicet ...)\*, s obsahem v suché droze 0,0055 % (cit.<sup>26</sup>), je silný napětově řízený inhibitor sodíkových kanálů, který je účinný cerebrální vasodilatátor<sup>27</sup> a dokáže účinně léčit a předcházet ischemickým kardiovaskulárním a cerebrovaskulárním onemocněním a dalším komplikacím<sup>28</sup>. Má též pozitivní vliv na paměť a učení, proti negativním účinkům stresu a ku zlepšení spánku<sup>29</sup>. Mimo jiné je zkoumána mj. i jeho inhibiční aktivita agonisty 5-hydroxytryptaminových receptorů při léčení rakoviny<sup>30</sup> a vliv na primární degenerativní a vaskulární demence<sup>31</sup>. Účinek vinkaminu je diskutován i u poruch krevního oběhu v sítnici<sup>32</sup>.

Mezi dalšími hlavními indolovými alkaloidy, které starší literatura pro jejich hořkou chuť řadí někdy mezi hořčiny a které jsou (jakožto správné alkaloidy) toxické, vidíme například:

**(+)-vincin** (11-methoxyvincamine), kde jako příklad toxicity nalézáme LD<sub>50</sub> (myš domácí)<sup>33</sup> 180 mg kg<sup>-1</sup>,

**9-methoxyvinkamin**, u kterého byla nalezena antimikrobiální a cytotoxická aktivita<sup>34</sup>,

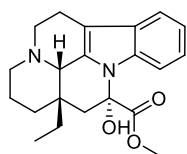
**isovinkamin** ((+)-*trans*-vincamine, 3-epivincamine) v barvínku zastoupený jako vinkamin, je zkoumán na kardiovaskulární<sup>35</sup> a cerebrální<sup>36</sup> aktivitu,

**vinkamidin** (strictamin), **(+)-vinkaminorin**, **(+)-vinkaminorein** a **(-)-minovin** jsou zkoumány na léčení Alzheimerovy choroby<sup>37</sup>,

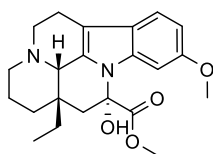
**(+)-minovincin** a **(-)-minovincin** u kterých byly nalezena antimikrobiální a cytotoxická aktivita<sup>34</sup>,

**(-)-akuammicin**, zkoumaný na aktivitu protizánětlivou a na léčení Alzheimerovy choroby, rakovin a astmatu.

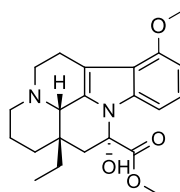
Kancerostatický **(+)-vinblastin** (vincalucoblastin), patří mezi tzv. vinka alkaloidy (vinca alkaloids), používané v chemoterapii při léčbě rakoviny (*Vinblastini sulfas*),



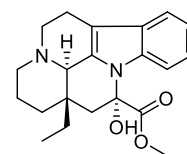
vinkamin



(+)-vincin (11-methoxyvinkamin)

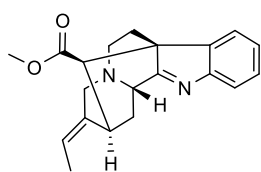


9-methoxyvinkamin

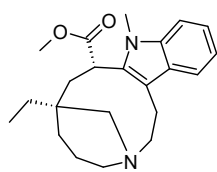


isovinkamin

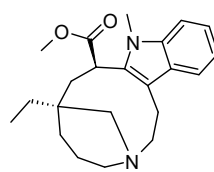
\* V závorce za počestěným názvem uvádíme již nepočestěné anglické názvy popsane sloučeniny pro snadnější orientaci čtenáře v literatuře, která je, dnes v naprosté většině případů, anglicky.



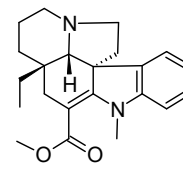
vinkamidin



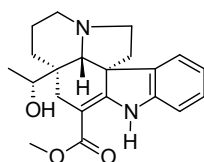
(+)vinkaminorin



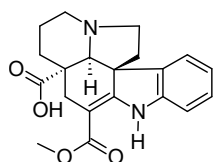
(+)vinkaminorein



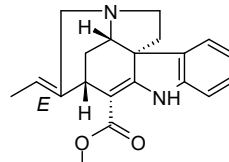
(-)minovin



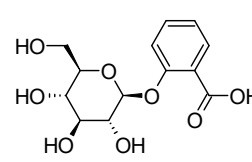
(+)minovincin



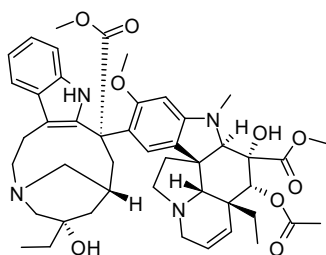
(-)minovincinin



(-)akuammicin



glukosid kyseliny salicylové



(+)vinblastin

získávají se však z odlišné rostliny, barvínekce růžového (*Catharanthus roseus*), protože v barvínkou menším je obsažen pouze v minimálním množství<sup>38</sup>. Barvínekce růžový pochází z Madagaskaru a v minulosti byl rovněž řazen do rodu *Vinca*. Byly publikovány studie popisující možnost produkce vinblastinu v kultuře geneticky modifikované kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* (droždí)<sup>39,40</sup>.

Kromě jiného je ve *V. minor* obsažen v malém množství i **glukosid kyseliny salicylové**<sup>41</sup>, který byl svého času považován za vhodné analgetikum<sup>42</sup>.

Z dalších látek obsahuje barvínek saponiny, tříslovinny, pektin, fenolové kyseliny (jako vanilová, kumarová, chlorogenová a kávová), flavonoidy (rutin) a kyselinu ursolovou<sup>43</sup>, kromě toho i glykosidy, tříslovinny, askorbovou kyselinu a karotenoidy<sup>44</sup>. Medicinální drogou je sušený stoněk sbíraný před květem.

Přehledné struktury sloučenin, jejichž vzorce je skoro nemožné hezky nakreslit a které jsou navýsost biologicky aktivní, činí z našeho barvínkou hlubokou studnici vědění, protože málokdy se podaří tak užitečnou a v pravdě všemu odolnou bylinu v přírodě najít.

Článek je součástí série příspěvků v tomto časopise, popisujících různé chemické aspekty problematiky přírod-

ních látek, jako např.<sup>45–48</sup>. Chce tím přispět k uváženému přístupu čtenářů k chemii, o níž se v médiích vyskytují často velmi odsuzující články, ještě častěji plně polopravd a výmyslů.

#### LITERATURA

1. Vrabc R., Drašar P., Opletal L., Kosturko Š., Blunden G., Cahliková L.: *Phytochem. Rev.* 24, 3665 (2025).
2. Kops J.: *Vinca minor* — *Flora Batava*; <https://www.BioLib.de>, staženo 28. 2. 2025.
3. Presl J. S.: *Jana Swatopluka Presla Wšeobecný rostlinopis, čili, Popsání rostlin ve všelikém ohledu užitečných a škodlivých*, Díl 2. Kronberger a Řivnác, Praha 1846.
4. White Rabbit Institute of Healing: *Healing Herb Directory*, <https://www.whiterabbitinstituteofhealing.com/herbs/>, staženo 28. 2. 2025.
5. Culpeper N., Sibley E.: *Culpeper's English Physician and complete Herbal*. E. Sibley, London 1789.
6. Mlčoch Z.: *Barvínek menší – účinky na zdraví, co léčí, použití, užívání, využití, pěstování*; <https://www.bylinkyprovsechny.cz/byliny-kere-stromy/jedovate-byliny/2100-barvinek-mensi-ucinky-na-zdravi-co-leci-pouziti-uzivani-vyuziti-pestovani>, staženo 28. 10. 2025.
7. Hessen H.: *Neue Garten – Lust*. Johann Ludwig Gleitschen, Leipzig 1703.
8. von Matthisson F.: *Gedichte von Matthisson*. Franz Haas, Wien + Praha 1803.
9. Presl S., Presl B.: *Flora čechica indicatis medicinalibus, oeconomicis technologicisque plantis = Kwětena česká : s poznamenáním lékařských, hospodářských a řemeslnických rostlin*. J. G. Calve, Praha 1819.
10. Dobrovský J.: *Deutsch-böhmisches Wörterbuch*. Herrl, Praha 1821.

11. Palkovič J.: *Böhmisch-deutsch-lateinisches Wörterbuch mit Beyfügung der den Slowaken und Mähren eigenen Ausdrücke und Redensarten zunächst für Schulen durchaus neubearbeitet, auch mit einem vollständigen deutschen Wortregister versehen und auf eigene Kosten*. Josepha Vetterl v. Wildenbrunn, Praha 1820.
12. Mattioli P. A., Huber z Risenpachu A., Adam z Vele-slavína D.: *Herbář, aneb, Bylinář doktora Petra Ondřege Mathiola*. B. Kočí, Praha 1924.
13. Tomiček J. S., Franta Šumavský J., Amerling K.: *Slowanka, Sbjrka národních powěstj*. H. J. Enders, Praha 1833.
14. Kapper S.: *České listy od Sígfrída Kappera*. Calveské kněhkupectví, Praha 1846.
15. Karlík P.: *Les*, *Práce* 100, 36 (2021).
16. Karlík P., Nekula M., Pleskalová J.: *Nový encyklopedický slovník češtiny online*; <https://www.czechency.org/>, staženo 28. 10. 2025.
17. von Berchtold F., Presl J. S.: *O přirozenosti rostlin, aneb, Rostlinář, obsahujc j popsánj a wyobrazenj rostlin podlé řádů přirozených zpořádané..., ustanowený pro lékaře, hogiče, hospodáře, umělce, řemeslnjky a wychowatele*. B. Haase, Praha 1823.
18. Spilková J., Martin J., Siatka T., Tůmová L., Kašparová M.: *Farmakognozie*. Univerzita Karlova, Karolinum, Praha 2016.
19. Sturluson T.: *Lesser Periwinkle – Medicinal Uses and Benefits*; <https://www.herbal-supplement-resource.com/periwinkle-herb.html>, staženo 28. 10. 2025.
20. Sun Z. K., Yang H. Q., Chen S. D.: *Transl. Neurodegener.* 2, 6 (2013).
21. Khanavi M., Pourmoslemi S., Farahanikia B., Hadjiakhoondi A., Ostad S. N.: *Pharm. Biol.* 48, 96 (2010).
22. Jahodář L.: *Rostliny způsobující otravy*. Univerzita Karlova, Karolinum, Praha 2018.
23. Neczypor W.: *Pharmazie* 24, 273 (1969).
24. Neczypor W.: *Pharmazie* 20, 735 (1965).
25. Farahanikia B., Akbarzadeh T., Jahangirzadeh A., Yassa N., Shams Ardekani M. R., Mirnezami T., Hadjiakhoondi A., Khanavi M.: *Iran J. Pharm. Res.* 10, 777 (2011).
26. Schlittler E., Furlenmeier A.: *Helv. Chim. Acta* 36, 2017 (1953).
27. Szantay C.: *Pure Appl. Chem.* 62, 1299 (1990).
28. Hou E., Li D.: *Xibei Yaoxue Zazhi* 25, 314 (2010).
29. Yazawa K.: *Nonai Roka Seigyo to Baiomaka: Kiban Kenkyu to Shokuhin Sozai* 2009, 235.
30. Norwood V. M. IV: *J. Med. Chem.* 63, 5119 (2020).
31. Fischhof P. K., Moslinger-Gehmayr R., Herrmann W. M., Friedmann A., Russmann D. L.: *Neuropsychobiology* 34, 29 (1996).
32. Koch H. J., Raschka C., Fischer-Barnicol D.: *Pharm. Ztg.* 148, 16 (2003).
33. Potier P., Kan-Fan C.: FR2092726 (1972).
34. El-Senduny F. F., Elgazar A. A., Alwasify H. A., Abed A., Foda M., Abouzeid S., Lewerenz L., Selmar D., Badria F.: *Planta Med.* 89, 964 (2023).
35. Czibula L., Nemes A., Visky G., Farkas M., Szombathelyi Z., Karpati E., Sohar P., Kessel M., Kreidl J.: *Liebigs Ann. Chem.* 1993, 221.
36. Imamoto T., Nukada T., Tada K.: *Nō to shinkei = Brain and nerve* 29, 341 (1977).
37. Vrabec R. a 17 spoluautorů: *Phytochemistry (Elsevier)* 194, 113017 (2022).
38. Ciorîță A., Zăgrean-Tuza C., Moț A. C., Carpa R., Pârnu M.: *Molecules* 26, 3040 (2021).
39. Srinivasan P., Smolke C. D.: *Med* 3, 727 (2022).
40. Zhang Jie a 29 spoluautorů: *Nature (London, UK)* 609, 341 (2022).
41. King F. E., Gilks J. H., Partridge M. W.: *J. Chem. Soc.* 1955, 4206.
42. Eisai Co., Ltd. Japan: JP59152328 A (1984).
43. Jirásek V., Zadina R., Blažek Z., Jiřincová L.: *Naše jedovaté rostliny*. ČSAV, Praha 1957.
44. Lyapunova P. N.: *Izuch. i Ispol'z. Lekarstv. Rastit. Resursov SSSR (Leningrad: Med.) Sb.* 1964, 255.
45. Jurášek M., Drašar P.: *Chem. Listy* 119, 672 (2025).
46. Lener T., Nesměrák K.: *Chem. Listy* 119, 374 (2025).
47. Grbavčić M., Jurášek M., Drašar P.: *Chem. Listy* 118, 448 (2024).
48. Eremia N. G., Coșelea O., Jereghi V., Sucman N., Mardari T., Cataraga I., Macaev F. Z.: *Chem. Listy* 118, 668 (2024).

**M. Jurášek<sup>a</sup>, L. Opletal<sup>b</sup>, L. Cahliková<sup>b</sup>, and P. Drašar<sup>a</sup>** (<sup>a</sup> Department of Chemistry of Natural Products, University of Chemistry and Technology, Prague, <sup>b</sup> Department of Pharmacognosy and Pharmaceutical Botany, Faculty of Pharmacy in Hradec Králové, Charles University, Hradec Králové, Czech Republic): **How the Sorcerer's Violet Drives Away Evil Spirits but Cares for Friendship**

The article describes the historical roots of the use of lesser periwinkle, its most important constituents, and their biological activity.

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

**Keywords:** periwinkle, vinca alkaloids, vincamine, vinblastine



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

## ELEKTROFORETICKÉ STANOVENÍ BROMIDŮ V TĚLNÍCH TEKUTINÁCH

*Tato práce je věnována prof. RNDr. Jiřímu Zimovi, CSc. u příležitosti jeho významného životního jubilea.*

**PETR TŮMA**

Univerzita Karlova, 3. lékařská fakulta, Ruská 87, 100 00 Praha 10, Česká republika  
petr.tuma@lf3.cuni.cz

Pro monitorování bromidů v krevní plazmě, moči a žaludeční šťávě prasat jako laboratorních organismů je využita kapilární elektroforéza s UV detekcí. K analýze je použito 20  $\mu\text{l}$  tělní tekutiny, která je upravena 60  $\mu\text{l}$  acetonitrilu s 2 mM KSCN jako interním standardem. Separace je prováděna v 90 mM tetraboritanu sodném s přidávkem 10 mM NaCl při pH 9,2. Při těchto experimentálních podmínkách je migrační čas bromidů 2,1 min, LOD se pohybuje na úrovni 48–51  $\mu\text{M}$  a LOQ v rozmezí 148–171  $\mu\text{M}$  pro jednotlivé tělesné tekutiny. Hodnoty RSD pro migrační čas jsou menší než 0,1 % a pro plochu píku v rozmezí 1,9–2,5 %. Vyvinutá metodika je použita pro časové monitorování bromidů v klinických vzorcích po intravenózní aplikaci NaBr laboratornímu zvířeti v dávce 50 mg  $\text{kg}^{-1}$  a aplikována pro výzkum v oblasti anesteziologie a resuscitace.

**Klíčová slova:** bromidy, extracelulární prostor, kapilární elektroforéza, klinické vzorky

### Úvod

Bromidy na rozdíl od chloridů, jodidů a fluoridů jsou zřídka zmiňovány v biochemii, ale patří ke kofaktorům několika enzymů. Bromidy se podílí na post-translačních úpravách kolagenu IV (cit.<sup>1</sup>), eozinofily imunitního systému je využívají v boji s parazity<sup>2</sup> a jejich hlavním zdrojem pro člověka je mořská sůl a plody moře<sup>3</sup>. Farmakologicky se NaBr a KBr hojně využívaly pro léčbu a prevenci schizofrenie a jako sedativa<sup>4</sup>. Příliš vysoké dávky bromidů jsou ovšem pro člověka toxické a spojené s vážnými neurologickými a dermatologickými příznaky<sup>5,6</sup>.

Důležité uplatnění ovšem nalézají bromidy v intenzivní medicíně pro měření objemu extracelulární tekutiny<sup>7</sup>. Objem extracelulárního prostoru se výrazně mění při infuzích, zánětlivých procesech, anabolické terapii a proteínové malnutrici, které jsou předmětem intenzivního studia<sup>8,9</sup>. Objem extracelulární tekutiny se měří pomocí specifických markerů, jako jsou chloridy, sírany nebo bromidy, které patří mezi elektrolyty extracelulárního prostoru. V případě bromidů není potřeba používat radioaktivní formy, kdy se studovanému organismu aplikuje pouze nízká dávka neznačeného NaBr a po dosažení rovnováhy se z koncentrace bromidů určí objem extracelulárního prostoru<sup>10</sup>. Pro fyziologické monitorování bromidů se standardně používá iontová chromatografie<sup>11</sup> nebo neutronová aktivační analýza<sup>12</sup>.

Pro přímé sledování bromidů v komplexních klinických matricích lze s výhodou využít i kapilární elektroforézu (CE)<sup>13</sup>, popřípadě elektroforézu na mikročipu<sup>14</sup>.

CE separace prováděná v kapilárách o malém vnitřním průměru se vyznačuje vysokou separační účinností, krátkou dobou analýzy a také malými požadavky na množství klinického vzorku a jeho laboratorní úpravu<sup>15</sup>. Dosud byly popsány pouze dvě klinické aplikace techniky kapilární zónové elektroforézy (CZE) pro stanovení bromidů v krevním séru pro účely forenzní analýzy ve spojitosti s předávkováním léčivy<sup>16,17</sup>. Cílem této studie bylo vypracovat CZE metodu pro rychlé monitorování bromidů v krevní plazmě, moči a žaludeční šťávě prasat jako laboratorních organismů, na nichž se provádí fyziologické experimenty.

### Materiál a metody

#### Kapilární elektroforéza

Elektroforetické experimenty byly prováděny na přístroji Agilent 7100 (Agilent Technologies, Německo) s vestavěným detektorem diodového pole a bromidy byly detegovány při vlnové délce 200 nm. Separace byly prováděny v křemenné kapiláře o vnitřním/vnější průměru 25/360  $\mu\text{m}$  (PolymicroTechnologies, CM Scientific, Velká Británie) a efektivní/celkové délce 23/31,5 cm. Nová kapilára byla nejprve kondicionována promytím 0,1 M NaOH po dobu 15 min, následně deionizovanou (DEI) vodou po 15 min a nakonec základním elektrolytem po dobu 30 min, vše tlakem 940 mbar. Vzorek byl do kapiláry dávkován hydrodynamicky tlakem 50 mbar po dobu 5 s a separace byla po-

háněna napětím  $-15$  kV, kdy kapilárou teče proud  $40$   $\mu$ A. Mezi analýzami byla kapilára promývána základním elektrolytem po dobu  $2$  min.

#### Chemikálie, úprava vzorku a fyziologický experiment

Všechny použité chemikálie byly stupně čistoty  $\geq 99\%$  a získány od těchto dodavatelů: tetraboritan sodný (borax, Sigma-Aldrich, Německo), NaCl (Lachema, ČR), NaOH (LachNer, ČR), NaBr (Sigma-Aldrich, Německo), KSCN (Lachema, ČR), acetonitril (Sigma-Aldrich, Německo). Pro přípravu roztoků byla použita DEI voda ( $18,2$  M $\Omega$  cm, Millipore, Francie).

Tělní tekutiny byly odebrány do  $1$  ml zkumavek Eppendorf a zamrazeny na  $-80$   $^{\circ}$ C. Po rozmrazení byly tělní tekutiny protřepány po dobu  $2$  min (Vortex Genie 2, Scientific Instrument, USA) a žaludeční šťávy byly navíc filtrovány pomocí centrifugační vialky vybavené  $0,45$   $\mu$ m PVDF filtrem (Merk Millipore, Irsko). K analýze bylo použito vždy  $20$   $\mu$ l tělní tekutiny, ke kterým bylo přidáno  $60$   $\mu$ l acetonitrilu s rozpuštěným  $2$  mM KSCN jako interním standardem. Tato směs byla protřepána v  $0,2$  ml mikrozkuhavce Eppendorf po dobu  $3$  min a následně centrifugována po dobu  $2$  min při zrychlení  $4000$  g (MiniSpin Plus, Eppendorf, Německo).  $50$   $\mu$ l získaného supernatantu bylo přeneseno do plastové vialky s integrovaným insertem a vloženo do karuselu elektroforetického přístroje. Přidavek acetonitrilu slouží k účinnému odstranění proteinů z tělní tekutiny a zároveň potlačuje elektrickou vodivost klinických vzorků<sup>18</sup>.

Fyziologické experimenty byly prováděny na prasatech, kterým je na počátku experimentu aplikována jednorázová dávka bromidů v množství  $50$  mg  $\text{kg}^{-1}$  intravenózně. Následně byly prasatům odebírány vzorky krve, moče a žaludeční šťávy po dobu  $28$  h. Krev byla odebírána do nádobek s antikoagulantem EDTA a zpracována na krevní plazmu. Všechny tyto experimenty byly prováděny na Klinice anesteziologie a resuscitace 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a byly schváleny Odbornou komisí pro zajišťování dobrých životních podmínek pokusných zvířat (3. lékařská fakulta).

## Výsledky a diskuse

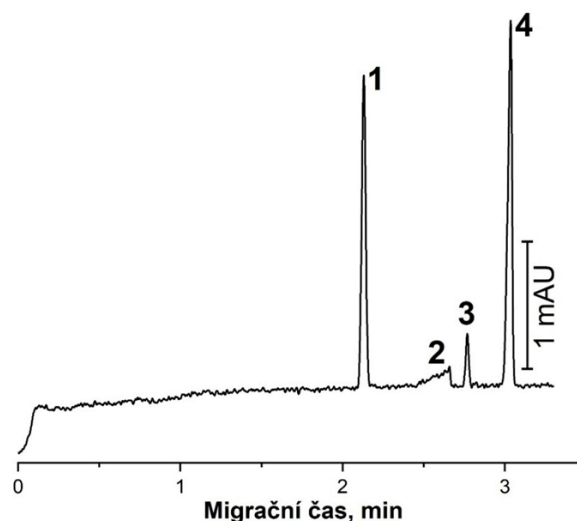
### Elektroforetická separace

CZE separace bromidů byla prováděna v  $90$  mM boraxu s přidavkem  $10$  mM NaCl (pH  $9,2$ ) v negativním elektroforetickém módu a poháněna napětím  $-15$  kV. Za těchto podmínek protéká kapilárou katodický elektroosmotický tok (EOF) a bromidy jako anionty migrují v opačném směru. Vzhledem k tomu, že mobilita bromidů je v absolutní hodnotě větší než mobilita EOF, tak se bromidy pohybují v kapiláře směrem k detektoru a jejich pozorovaná mobilita je rozdílem elektroforetické mobility bromidů a mobility EOF (mobilita EOF je změřena experimentálně na základě migrační-

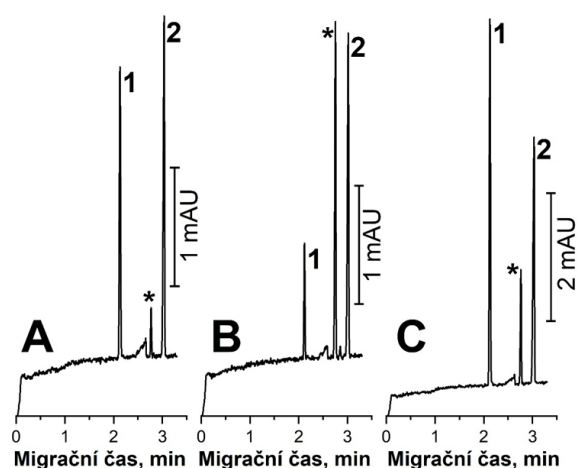
ho času zóny elektroneutrální látky v pozitivním separačním módu a má hodnotu  $28,7 \pm 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , zatímco tabulková hodnota limitní mobility bromidů je  $-81,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ). Separace prováděná v protisměrném režimu přispívá k oddělení bromidů od ostatních složek vzorku, neboť bromidy jsou vystaveny delší dobu působení separačního elektrického pole.

Další předností protisměrného EOF je vytlačení matrice vzorku ven z počátku separační kapiláry do vstupní vialky se základním elektrolytem, čímž se z kapiláry odstraní nežádoucí acetonitril, který by jako organické rozpouštědlo způsoboval fluktuaace elektrického proudu a mohl vést až k přerušení separace<sup>19</sup>. Dalším důležitým faktorem je přidavek NaCl do základního elektrolytu. Tělní tekutiny se vyznačují vysokým zastoupením NaCl a při separaci aniontů bude vysoká koncentrace majoritních chloridů ve vzorku narušovat oddělení minoritně zastoupených bromidů, které vykazují podobnou hodnotu elektroforetické mobility jako chloridy. Přidavek chloridů do základního elektrolytu odstíní chloridy přítomné ve vzorku, které se zobrazují na elektroferogramu jako malý potlačený pík (obr. 1). Naopak bromidy poskytují ostrý pík, který je oddělen od ostatních složek tělních tekutin až na základní linii detektoru.

Podstatnou součástí analýzy klinických vzorků je jejich úprava pro CE analýzu. V původním návrhu bylo použito pouhé desetinásobné zředění krevní plazmy přidavkem DEI vody, které se v praxi ukázalo jako nevyhovující<sup>16</sup>. Proteiny přítomné ve vzorku způsobovaly nestabilitu migračního času bromidů s hodnotou RSD větší než  $10\%$ . Z tohoto důvodu se přistoupilo na deproteinizaci



Obr. 1. Elektroferogram krevní plazmy prasete odebrané  $4$  h po aplikaci dávky bromidů  $50$  mg  $\text{kg}^{-1}$  intravenózně. Identifikace píků: 1 – bromidy, 2 – chloridy, 3 – neidentifikovaná látka, 4 – thiokyanidy jako interní standard. Experimentální podmínky: základní elektrolyt  $90$  mM borax +  $10$  mM NaCl (pH  $9,2$ ), separační napětí/proud  $-15$  kV/ $40$   $\mu$ A, hydrodynamické dávkování vzorku tlakem  $50$  mbar po dobu  $5$  s



Obr. 2. Elektroferogram krevní plazmy (A), moče (B) a žaludeční šťávy (C) prasete v čase 4 h po aplikaci dávky NaBr 50 mg kg<sup>-1</sup> váhy prasete. Identifikace pík: 1 – bromidy, 2 – thiokyanidy, \* – neidentifikovaná látka. Experimentální podmínky stejně jako u obr. 1

klinických tekutin přidavkem acetonitrilu v poměru 1:3 v/v, což se ukazuje jako dostatečná eliminace vlivu matrice u všech klinických vzorků. Společná hodnota RSD pro migrační čas v krevní plazmě, moči a žaludeční šťávě je rovna 0,1 % (obr. 2). Uvedená úprava vzorku navíc umožňuje reprodukovatelně zpracovávat pouhých 20 μl tělní tekutiny, což splňuje požadavky mikroanalytického postupu analýzy a nezpůsobuje nadměrné dopady na životní prostředí<sup>20</sup>.

Tabulka I

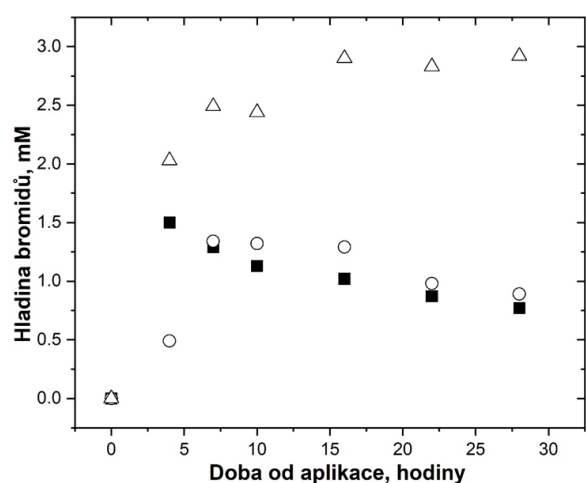
Parametry lineárních kalibračních závislostí plochy a výšky píku na koncentraci bromidů v krevní plazmě, moči a žaludeční šťávě prasete, LOD, LOQ a separační účinnost

Parametr	Plazma	Moč	Žaludeční šťáva
Koncentrační rozsah, mM	0,2 – 5,0	0,2 – 5,0	0,2 – 5,0
Směrnice – plocha ± SD, mAU·s/mM	3,05 ± 0,06	3,19 ± 0,03	2,96 ± 0,02
Úsek – plocha ± SD, mAU·s	0,25 ± 0,08	0,09 ± 0,04	0,34 ± 0,03
R <sup>2</sup>	0,9990	0,9997	0,9999
Směrnice – výška ± SD, mAU/mM	1,76 ± 0,01	1,87 ± 0,02	1,90 ± 0,01
Úsek – výška ± SD, mAU	0,11 ± 0,01	0,05 ± 0,02	0,21 ± 0,02
R <sup>2</sup>	0,9999	0,9997	0,9999
LOD, μM	51	48	47
LOQ, μM	171	161	157
t, min ± SD	2,13 ± 0,00	2,12 ± 0,00	2,12 ± 0,00
N, m <sup>-1</sup> ± SD	124300 ± 7700	132800 ± 9500	162100 ± 5700
RSD – čas, %	0,06	0,10	0,06
RSD – plocha píku, %	1,9	2,1	2,5

#### Kalibrační závislosti, meze detekce a separační účinnost

Kalibrace metody byla provedena standardním přidavkem NaBr v koncentračním rozmezí 0,2–5 mM na pěti koncentračních hladinách ke slepým vzorkům jednotlivých tělních tekutin. Slepé vzorky byly odebrány před intravenózní aplikací bromidů laboratornímu zvířeti. Následně byly kalibrační vzorky zpracovány přidáním 60 μl acetonitrilu s obsahem 2 mM KSCN stejně jako vzorky z dynamického monitorování. Kvantifikace bromidů byla provedena z lineární závislosti plochy píku na koncentraci. Změřené plochy píků byly korigovány na migrační čas a na plochu píku interního standardu. Meze detekce (LOD) a meze stanovitelnosti (LOQ) byly určeny jako trojnásobek, resp. desetinásobek šumu základní linie detektoru dělené směrnici kalibrační závislosti výšky píku na koncentraci. Separační účinnost byla vypočtena jako počet teoretických pater dle vzorce  $N = 5,54 (t/w_{1/2})^2 \cdot 1/L_{\text{eff}}$ , kde  $t$  je migrační čas,  $w_{1/2}$  šířka píku v polovině výšky a  $L_{\text{eff}}$  je efektivní délka separační kapiláry. Separační účinnosti byly určeny pro kalibrační vzorek tělní tekutiny o koncentraci 0,5 mM. Parametry kalibračních závislostí jsou shrnuty v tabulce I.

Všechny získané kalibrační závislosti v koncentračním rozsahu 0,2 až 5,0 mM byly lineární s koeficientem determinace  $R^2 \geq 0,999$ . LOD se pohybuje na úrovni 50 μM pro neupravenou tělní tekutinu, což je dostatečně nízká hodnota pro monitorování bromidů ve všech typech sledovaných tělních tekutin. Poměrně vysoké hodnoty LOD jsou zapříčiněny nízkou absorpcí bromidů v UV oblasti spektra a také nízkým dávkováním vzorku do separační kapiláry, kdy nebylo použito elektroforetické zaostrění vzorku. RSD pro migrační čas byly excelentní na



Obr. 3. Monitorování hladiny bromidů v krevní plazmě (■), moči (○) a žaludeční šťávě (△) prasete po aplikaci dávky 50 mg kg<sup>-1</sup> intravenózně

úrovni 0,1 %, na čemž se podílí stabilní EOF v bazické oblasti pH základního elektrolytu. RSD pro plochu píku na úrovni kolem 2 % představují běžně dosahované hodnoty charakteristické pro CZE separace prováděné na komerčních přístrojích.

#### Dynamika bromidů v tělních tekutinách prasete

Vyvinutá CE metoda byla aplikována pro monitorování hladin bromidů ve třech tělních tekutinách prasete. Experimentálnímu zvířeti byla na počátku experimentu intravenózně aplikována dávka NaBr 50 mg na 1 kg váhy prasete a poté byly odebrány tělesné tekutiny s časech 0, 4, 7, 10, 16, 22 a 28 hodin (obr. 3). Hladina bromidů v krevní plazmě byla nejvyšší v čase 4 h po aplikaci, mezi 10 až 16 h dosáhla stabilního rovnovážného stavu a poté pozvolna klesala. Hladiny bromidů v moči narůstaly pomaleji a v čase 7 h dosáhly úrovně nalezené v krevní plazmě. Zajímavým zjištěním je vysoká koncentrace bromidů v žaludeční šťávě, která představuje významnou cestu jejich vylučování z organismu. Rovnovážná hladina bromidů v plazmě se po korekci na ztráty bromidů močí a žaludeční šťávou použila pro výpočet extracelulárního prostoru.

#### Závěr

Kapilární elektroforéza byla poprvé použita pro stanovení bromidů v krevní plazmě, moči a žaludeční šťávě prasete pro účely anesteziologie a resuscitace. CZE stanovení je provedeno z pouhých 20 μl tělesné tekutiny, která byla upravena přidávkem 60 μl acetonitrilu. Další před-

ností CZE je krátká doba analýzy, vysoká stabilita migračního času a aplikace jedné metodiky na několik odlišných klinických vzorků. CZE tak představuje vhodný nástroj pro klinickou analýzu, která je prováděna na rozsáhlých souborech vzorků za účelem monitorování farmakokinetiky.

Autor děkuje za finanční podporu GAČR, grant 22-22398S.

#### LITERATURA

- McCall A. S., Cummings C. F., Bhavé G., Vanacore R., Page-McCaw A., Hudson B. G.: *Cell* 157, 1380 (2014).
- Mayeno A. N., Curran A. J., Roberts R. L., Foote C. S.: *J. Biol. Chem.* 264, 5660 (1989).
- Olszowy H. A., Rossiter J., Hegarty J., Geoghegan P., Haswell-Elkins M.: *J. Anal. Toxicol.* 22, 225 (1998).
- López-Muñoz F., Shen W. W., D'Ocon P., Romero A., Alamo C.: *Int. J. Mol. Sci.* 19, 2143 (2018).
- Coelho-Silva J., Faria J., Dinis-Oliveira R. J.: *Toxicol. Mech. Methods* 35, 943 (2025).
- Thornton C. S., Haws J. T.: *J. Gen. Intern. Med.* 35, 2459 (2020).
- Forbes G. B., v knize: *Human Body Composition: Growth, Aging, Nutrition, and Activity* (Forbes G. B., ed.), str. 5–17. Springer, New York 1987.
- Levy L. D., Durie P. R., Pencharz P. B., Corey M. L.: *J. Pediatr.* 107, 225 (1985).
- Baarends E. M., Schols A., Lichtenbelt W., Wouters E. F. M.: *Am. J. Clin. Nutr.* 65, 88 (1997).
- Kim J., Wang Z. M., Gallagher D., Kotler D. P., Ma K. Z., Heymsfield S. B.: *J. Parenter. Enteral Nutr.* 23, 61 (1999).
- Miller M. E., Cosgriff J. M., Forbes G. B.: *Am. J. Clin. Nutr.* 50, 168 (1989).
- Holzbecher J., Ryan D. E.: *Clin. Biochem.* 13, 277 (1980).
- Tůma P.: *Anal. Chim. Acta* 1225, 1 (2022).
- Masár M., Hradski J., Szucs R.: *Talanta* 293, 128113 (2025).
- Tůma P., Samcová E., Štulík K.: *Electroanalysis* 23, 1870 (2011).
- Pascali J. P., Trettene M., Bortolotti F., de Paoli G., Gottardo R., Tagliaro F.: *J. Chromatogr. B* 839, 2 (2006).
- Pascali J. P., Liotta E., Gottardo R., Bortolotti F., Tagliaro F.: *J. Chromatogr. A* 1216, 3349 (2009).
- Tůma P., Bursová M., Sommerová B., Horsley R., Čabala R., Hložek T.: *J. Pharm. Biomed. Anal.* 160, 368 (2018).
- Tůma P., Hložek T., Sommerová B., Koval D.: *Talanta* 221, 121626 (2021).
- Kaljurand M., Mazina-Sinkar J.: *TrAC-Trends Anal. Chem.* 157, 116811 (2022).

**P. Tůma** (*Charles University, Third Faculty of Medicine, Prague, Czech Republic*): **Electrophoretic Determination of Bromides in Body Fluids**

Capillary electrophoresis with UV detection is used to monitor bromides in blood plasma, urine, and gastric juice of pigs as laboratory organisms. For analysis, 20  $\mu\text{L}$  of body fluid is used, which is treated by 60  $\mu\text{L}$  of acetonitrile with 2 mM KSCN as an internal standard. Separation is performed in 90 mM sodium tetraborate with the addition of 10 mM NaCl at pH 9.2. Under these experimental conditions, the migration time of bromides is 2.1 min, the limit of detection ranges from 48 to 51  $\mu\text{M}$ , and the limit of quantification from 148 to 171  $\mu\text{M}$  for individual body fluids. The relative standard deviation values for migration time are less than 0.1 % and for peak area in the range of 1.9–2.5 %. The developed methodology is used for time monitoring of bromides in clinical samples after intravenous administration of NaBr to a laboratory animal at a dose of 50  $\text{mg kg}^{-1}$  and applied for research in the field of anaesthesiology and resuscitation.

Keywords: bromides, extracellular space, capillary electrophoresis, clinical samples

*Acknowledgement*

*This research was supported by Grant Agency of Czech Republic (project 22-22398S).*



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

## BEZPEČNOST PŘEPRAVY NEBEZPEČNÝCH VĚCÍ PO ŽELEZNICI V ČESKÉ REPUBLICE

LUBOMÍR POLÍVKA<sup>a</sup>, OTAKAR JIŘÍ MIKA<sup>a</sup> a JIŘÍ BARTA<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Katedra krizového řízení, Fakulta bezpečnostního managementu, Policejní akademie České republiky v Praze, Praha,

<sup>b</sup> Katedra teorie vojenství, Fakulta vojenského leadershipu, Univerzita obrany, Brno, Česká republika  
otakar\_mika@email.cz

Došlo 2.1.26, přijato 12.1.26.

Článek je věnován problematice zlepšení bezpečnosti železniční přepravy nebezpečných věcí v České republice podle mezinárodní směrnice RID. Uvádí se i krátká statistika železniční přepravy nebezpečných věcí v České republice za vybrané období. Dále je diskutována řada bezpečnostních aspektů uvedené přepravy nebezpečných věcí. Zvláštní pozornost je věnována modelování havarijních dopadů jak velkých požárů, tak i havarijních úniků nebezpečných chemických toxických látek pomocí SW nástroje TerEx. Řada konkrétních výsledků havarijního modelování je uváděna v několika přehledných tabulkách a je dále diskutována. Na konci odborného článku autoři předkládají své vlastní návrhy různých opatření, která povedou k celkové vyšší bezpečnosti železniční přepravy nebezpečných věcí v České republice podle mezinárodní směrnice RID. Nejdůležitějším návrhem je příprava a provedení národního workshopu pozvaných dopravních expertů na železniční přepravu nebezpečných věcí, vybraných bezpečnostních odborníků, zástupců odborných firem i zástupců vysokých škol pod odbornou patronací Ministerstva dopravy České republiky.

Klíčová slova: přeprava, železniční přeprava, nebezpečná látka, nebezpečné věci, mezinárodní dohody, mimořádná událost, modelování havarijních dopadů, železniční souprava, záchranná a likvidační práce, bezpečnostní plán

### Obsah

1. Úvod k tématu železniční přepravy
2. Realizace železniční přepravy na území České republiky
3. Modelování havarijních dopadů
4. Bezpečnostní plán Správy železnic pro přepravu vysoce rizikových věcí
5. Návrhy ke zvýšení bezpečnosti přepravy nebezpečných věcí po železnici
6. Závěr

### 1. Úvod

Přeprava nebezpečných věcí může být riziková jak po silnici, tak i po železnici, ale i při ostatních druzích přepravy. Je však jasné, že největší hmotnosti nebezpečných věcí se přepravují hlavně po silnici a železnici, oba druhy takové přepravy jsou přísně regulovány jak evropskými, tak národními právními normami<sup>1</sup>.

Nebezpečné věci jsou po železnici přepravovány především pro potřeby petrochemického průmyslu a chemických provozů vyrábějících suroviny nebo konečné výrobky. Množství těchto látek při přepravě se pohybují od kilogramů po stovky tun (cit.<sup>2</sup>). Jelikož možnost úniku těchto škodlivých látek při přepravě je nejvíc nebezpečná (schází specializované záchytné zařízení a na místě obvykle nezasahují hned specializovaní pracovníci vycvičení a vybave-

ni přímo pro likvidaci podobných havarijních úniků) a také je relativně nejpravděpodobnější (možnost proražení nádrže při havárii, úniky při přecerpávání, přehřátí, havarijní naplnění atd.), je nutno mít tuto oblast upravenou závaznými normami, které stanovují nakládání, přepravu i technické požadavky na přepravní zařízení. Pro železniční přepravu v rámci státu se jedná především o Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí – Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses, který je známý pod zkratkou RID (cit.<sup>3</sup>). Řád RID je součástí doplňku C k Úmluvě o mezinárodní železniční přepravě (COTIF). Jedná se o klíčový mezinárodní předpis, který je závazný i v ČR a upravuje klasifikaci látek, obaly, značení, konstrukci cisteren a postupy plnění a přepravy.

V České republice je Řád RID zveřejněn ve Sbírce mezinárodních smluv a má tak postavení právně závazné normy, kterou musí dodržovat všechny subjekty účastnící se přepravy nebezpečných věcí<sup>3</sup>.

Kromě toho existují mnohé vnitrostátní předpisy, včetně zákonů o dráhách, doplňují mezinárodní normy a dohlíží na ně Drážní úřad<sup>4</sup> a Ministerstvo dopravy České republiky<sup>5</sup>.

Především z hlediska prevence vzniku mimořádné události související s únikem přepravovaných médií ukládá RID povinnosti účastníkům přepravního procesu (bezpečnostním poradcům, odesílateli, dopravci, příjemci a provozovateli železniční infrastruktury).

Správa železnic s. o.<sup>6</sup> je správcem železniční infrastruktury téměř na celém území České republiky. Z hlediska Řádu RID patří mezi tzv. ostatní účastníky přepravy nebezpečných věcí. Pro oblast přepravy nebezpečných věcí má mnoho povinností, které musí být striktně dodrženy. Jednou z hlavních povinností je vytvoření bezpečnostního plánu. Rovněž má povinnost ustanovit bezpečnostního poradce. Každý podnik, který provádí plnění nebo nakládku nebezpečných věcí na železnici, musí mít ustanoveného bezpečnostního poradce pro přepravu nebezpečných věcí.

Vzhledem k množství přepravovaných věcí po železnici a případným mimořádným událostem souvisejících s únikem nebezpečných věcí (nebezpečných chemických látek) a závažným škodám na životním prostředí je potřeba této problematice věnovat náležitou pozornost.

## 2. Realizace železniční přepravy na území České republiky

V typické železniční soupravě složené z 20 cisternových vozů, z nichž každý má objem 95 000 litrů, lze přepravit přibližně 1 900 000 litrů nafty – celková hmotnost: 1 596 000 kg (při hustotě 0,84 kg l<sup>-1</sup>). Tato hodnota je teoretické maximum za předpokladu kompletního naplnění všech cisteren a bez dalších omezení (např. hmotnostní limity tratí, kombinace s jinými látkami, bezpečnostní předpisy dopravce). Každá látka má své specifické vlastnosti a je nutné dodržet příslušné předpisy. Pro zkapalněné plyny platí jiná pravidla než pro hořlavé kapaliny nebo korozivní látky.

Významné jsou z hlediska bezpečnosti fyzikální a chemické vlastnosti látky. Mezi ně patří hustota, tlak par a tepelná roztažnost. Při plnění je nutné brát v úvahu, že objem kapaliny se mění s teplotou. Pokud by byla cisterna naplněna ze 100 % při nízké teplotě, při zvýšení teploty by kapalina mohla expandovat a způsobit přetlak a poškození cisterny.

Z důvodu tepelné roztažnosti a bezpečnostních rezerv se cisterna nikdy neplní na 100 % objemu. Maximální stupeň plnění je přesně stanovený pro každou látku a druh železniční cisterny. Každá nebezpečná věc (látka) má v RID přidělené UN číslo, třídu nebezpečnosti a specifické podmínky přepravy. V některých případech je přeprava zcela zakázána (např. některé výbušniny nebo látky vyžadující řízení teploty). Kombinace látek v jedné soupravě může být omezena podle tzv. kompatibility (např. výbušniny třídy 1 podle skupin snášlivosti). Souprava musí být označena oranžovými tabulkami s UN a Kemlerovým kódem a bezpečnostními značkami podle typu látky (např. hořlavé, toxické, žíravé). Všechny vozy musí být vybaveny podle specifikací RID (např. cisterny, kontejnery, obaly). Bezpečnostní poradce je povinný pro každou firmu, která přepravuje nebo nakládá nebezpečné věci po železnici. Jak již bylo uvedeno, RID nestanovuje absolutní hmotnostní limit pro přepravu v celé soupravě.

Omezení ale vyplývají z:

- technických parametrů vozů (např. maximální objem cisterny),
- kombinace s jinými nebezpečnými látkami (kompatibilita),
- předpisů dopravce (např. ČD Cargo může mít interní limity),
- národních výjimek (např. v rámci mnohostranných dohod podle RID 1.5.1).

### Statistické údaje

Statistika přepravy nebezpečných věcí, kterou vede Správa železnic s.o., se týká jak kvantitativních údajů o přepravovaných látkách (např. objem, hmotnost), tak i kvalitativních aspektů (např. druhy látek, druhy přepravy, bezpečnostní incidenty). Podle statistik OSN tvoří nebezpečné věci přibližně 50 % celkového objemu nákladů.

Ilustrační údaje o přepravě nebezpečných věcí v ČR od 1. července do 31. prosince 2024 (cit.<sup>7</sup>)

V uvedeném období bylo v ČR přepraveno celkem 53 909 soupravami 879 369,3 tun nákladu. S benzenem bylo v tomto období přepravováno 228 souprav s průměrnou hmotností soupravy cca 1 050 tun. Za zmínku stojí uvést soupravu převážející lithium – iontové baterie s hmotností 32 tun, nebo soupravu převážející toluen diisokyanát (TDI) s hmotností 2 078 tun. Z hlediska cílové stanice figuruje na prvním místě Děčín s počtem 8 631 souprav. Do Prahy směřovalo 4 634 souprav.

Tabulka I představuje několik statistických údajů Správy železnic s.o. seřazených podle hmotnosti nákladu.

## 3. Modelování havarijních dopadů

Na základě modelování je možné získat zjednodušený obraz rozsahu havárie s únikem nebezpečné látky. Aplikace základních parametrů do fyzikálních modelů generuje poměrně přesný obraz rozsahu úniku nebezpečné chemické látky při haváriích. S rozvojem technologií a růstem výkonnosti výpočetních prostředků je rozšiřování modelování ještě výraznější. Je třeba si uvědomit, že každý model má svá omezení. Protože se modeluje zjednodušený obraz potenciální havárie, zadávají se do vstupních údajů jen základní parametry prostředí. Z toho již vyplývá základní nedostatek modelování, protože do procesu šíření nebezpečné chemické látky při havárii vstupuje řada dalších proměnných, které nelze předpovědět a při modelování je do vstupních podmínek zahrnout<sup>8</sup>.

Faktory ovlivňující rozptyl a šíření nebezpečných chemických látek ve formě plynů, par a případně aerosolů:

- fyzikálně chemické vlastnosti přepravovaných nebezpečných chemických látek
  - těkavost, reaktivnost
  - pozitivní / negativní vztlavnost
  - bod varu

Tabulka I

Ukázka statistiky přepravy nebezpečných věcí po železnici v České republice, období 1. 7. 2024 do 31. 12. 2024 (cit.7)

Datum	Vlak	Dopravce	UN/kem.k.	Hmotnost [kg]	Výchozí st.	Cílová st.
30.10.2024	044782	PKP CARGO	1202/30	8862850	Lanžhot st.hr.	Bohumín-Vrbice
30.10.2024	044782	PKP CARGO	1203/33	4535550	Lanžhot st.hr.	Bohumín-Vrbice
6.12.2024	049209	ČD Cargo	6/1.1E	2343557	Bohumín-Vrbice	Kopřivnice
9.9.2024	044784	PKPCI	1999/33	2037400	Lanžhot st.hr.	Děčín hl.n. nákl.n.
10.9.2024	042384	PKPCI	1999/33	2037400	Děčín hl.n. nákl.n.	Děčín st.hr.
29.9.2024	048259	UNIPETROL	1268/33	2035500	Petrovice u K. st.hr.	Most nové n.
28.9.2024	041281	CERSK	1942/50	1856000	Petrovice u K. st.hr.	Petrovice u K.
30.9.2024	047721	CERSK	1942/50	1856000	Bohumín-Vrbice	Lanžhot st.hr.
30.9.2024	052498	CERSK	1942/50	1856000	Petrovice u K.	Bohumín-Vrbice
2.7.2024	048764	VTGCZ	1114/33	1807900	Hrobce	Děčín hl.n. nákl.n.
3.7.2024	044389	VTGCZ	1114/33	1807900	Děčín hl.n. nákl.n.	Děčín st.hr.
4.7.2024	041395	RM LINES	1202/30	1781000	Děčín st.hr.	Děčín-Prostřed. Žleb
4.7.2024	054765	RM LINES	1202/30	1781000	Děčín-Prostřed. Žleb	Lanžhot st.hr.
1.12.2024	044387	ČD Cargo	1202/30	1758050	Děčín st.hr.	Děčín hl.n. nákl.n.
2.12.2024	053807	BFL	1202/30	1757990	Děčín hl.n. nákl.n.	Chlumec nad Cidlinou
29.11.2024	041385	ČD Cargo	1202/30	1759859	Děčín st.hr.	Chlumec nad Cidlinou

- způsob přepravy
  - objem / naplněnost
  - zkapalněný / kryogenní plyn, teplota, tlak
- meteorologické podmínky
  - teplota vzduchu
  - vertikální pohyb plynů v atmosféře (konvekce, inverze, isothermie)
  - směr a rychlost větru
  - vlhkost vzduchu
- charakter místa nehody
  - členitost, terénní omezení
  - vegetace v okolí havarijního úniku
  - drsnost zemského povrchu

Modelováním úniků nebezpečné chemické látky je možno získat předběžný odhad o šíření nebezpečné látky a dosahu jejích nebezpečných vlastností pro lidský organismus a životní prostředí. Na základě těchto odhadů je

možné plánovat nezbytné opatření, připravit plán řešení v rámci procesů krizového řízení a informovat obyvatelstvo, aby se připravilo na realizaci krizových opatření<sup>9</sup>.

Pro hodnocení dosahu úniku nebezpečné chemické látky při havárii při železniční přepravě byly vybrány látky, které se podle statistických dat z přepravy jednotlivých nákladů v České republice přepravují velmi často a jejich případný únik by způsobil značné ohrožení<sup>10</sup> (tabulka I).

Nejčastěji se přepravuje automobilový benzín a motorová nafta. Další látkou, o které se v poslední době velmi diskutuje, je benzen. Diskuse odstartovala v souvislosti s nehodou v Hustopečích nad Bečvou z 28. února 2025, která se zařadila mezi nejzávažnější mimořádné události s únikem nebezpečné látky v novodobé historii České republiky<sup>11</sup>.

Došlo k úniku přibližně 250 tun benzenu a událost se tak řadí se mezi největší benzenové havárie na světě. Byla zasažena oblast o velikosti 4 600 m<sup>2</sup>. Kapalné hořlaviny se

Tabulka II

Objem a hmotnost nákladu pro nejčastěji používané železniční cisterny (benzín, nafta, benzen)

Objem cisterny [m <sup>3</sup> ]	Objem při 80 % [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost při 80 % benzín [t]	Hmotnost při 80 % nafta [t]	Hmotnost při 80 % benzen [t]
46	36,8	27,23	30,91	32,39
88	70,4	52,09	59,13	61,95
		Hmotnost při 92,15 % benzín [t]	Hmotnost při 81,18 % nafta [t]	Hmotnost při 77,48 % benzen [t]
		60	60	60
95	76,0	56,24	63,84	66,88

po železnici přepravují v železničních cisternách o objemu 88 m<sup>3</sup>, ale i ve starších menších cisternách o objemu 46 m<sup>3</sup>, z nichž některé jsou ještě jednoplášťové. Objemy a hmotnost uvedených některých nebezpečných látek přepravovaných v železničních cisternách jsou uvedeny v tabulce II. Množství přepravované nebezpečné látky musí být dle RID mezi 80 % kapacity a maximálním množstvím přepravované nebezpečné látky, při zachování bezpečnostní rezervy pro tepelnou roztažnost přepravované látky.

#### Modelování havárie softwarovým (SW) nástrojem TerEx

Vstupní podmínky byly stanoveny na říjnové počasí, kdy bylo 15 °C a nehoda by se stala v podobném prostředí jako havárie benzenu v Hustopečích. Modelování bylo prováděno pro hořlaviny (benzín, nafta, benzen) a pro chlor, chlorovodík a amoniak. Povrch byl stanoven na kamenivo, zemědělskou půdu a kompaktní podklad (beton, asfalt, ...). Na těchto podkladech je propustnost kapalin typu benzín, nafta či benzen průměrně 30 %. Vstupní data a výsledky modelování pro benzín jsou uvedeny na obr. 1.

Při zadání vstupních podmínek, které berou v úvahu konzervativní variantu (tu nejhorší možnou), je rozsah ohrožení osob nebezpečnou látkou z jedné železniční cisterny v rozsahu 180–220 metrů. I když se do nepoužívanější železniční cisterny o objemu 88 m<sup>3</sup> vejde různé

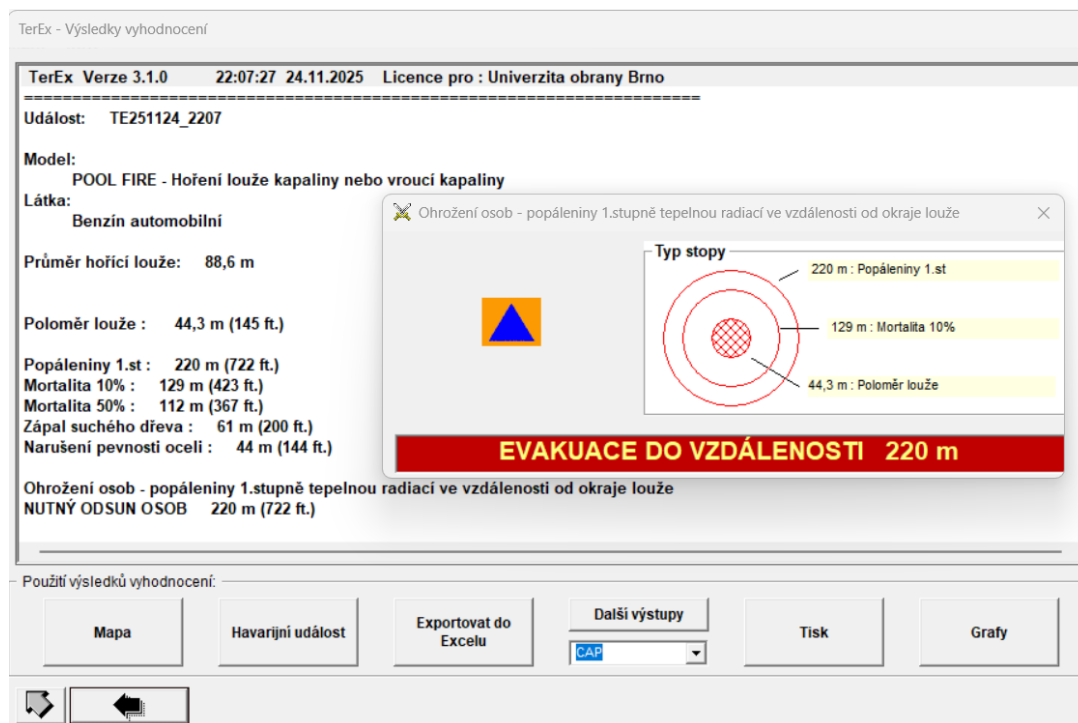
množství jednotlivých látek, a tím i velikost louže se bude pohybovat v průměru 75–88,6 metrů, je brána v úvahu konzervativní varianta a je počítáno s průměrem hořící louže 88,6 metrů. Osoby v blízkosti havárie jsou ohroženy tepelným zářením s nebezpečím popálenin 1. stupně, jak je vidět v tabulce III.

V rámci modelu bylo počítáno s jedním cisternovým vagonem, který je v rámci České republiky nepoužívanější pro přepravu nebezpečných látek. V současnosti po tratích České republiky jezdí vlaky, které přepravují tři desítky cisteren plných benzínu.

Další významnou skupinou nebezpečných látek, které jsou pravidelně přepravovány po železnici, jsou toxické látky. Z analýzy přepravců vyplynulo, že mezi nejnebezpečnější látky, které jsou přepravovány ve velkých množstvích, patří chlor, amoniak a chlorovodík.

Na přepravu chloru se v České republice (dle předpisů RID) nejčastěji používají železniční cisterny na chlor, které mají typizovaný objem 50 m<sup>3</sup>. Do této standardní cisterny na chlor o objemu 50 m<sup>3</sup> se vejde přibližně 62,5 tun chloru při maximální povolené hustotě plnění pro chlor (UN 1017) stanovené v předpisech RID, která činí přibližně 1,25 t m<sup>-3</sup>. I pro model s chlorem byla použita stejná vstupní data jako u hořlaviny (počasí s teplotou 15 °C a rychlostí větru 1 m s<sup>-1</sup>). Výsledky modelování jsou zobrazeny na obr. 2.

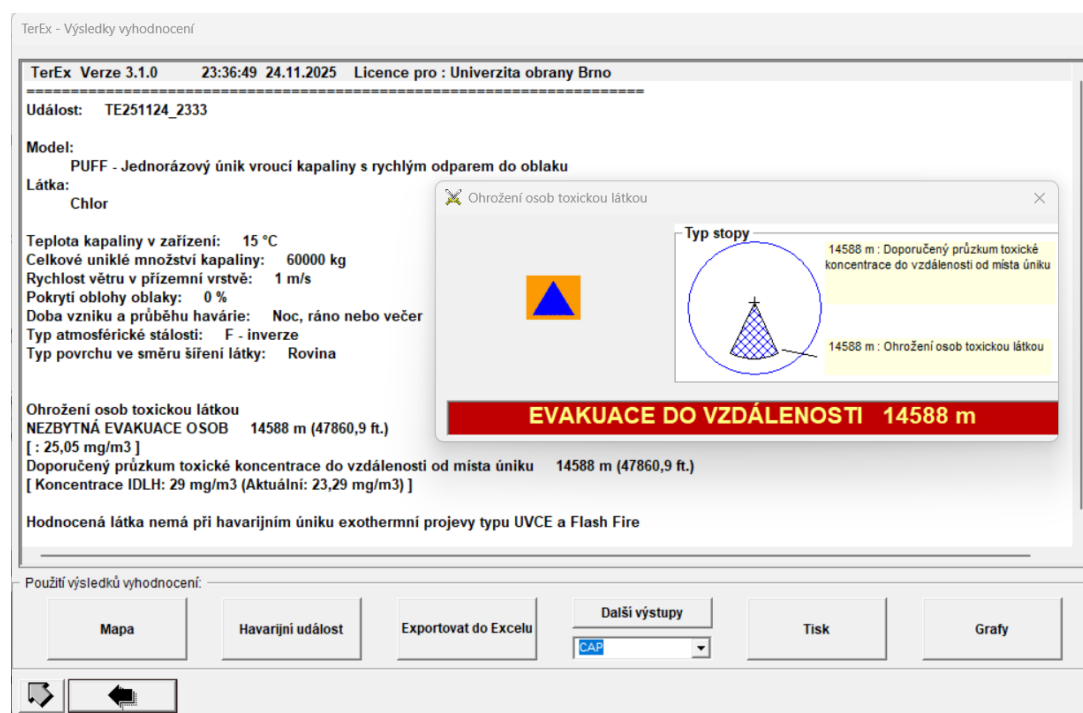
Na základě provedených simulací je zřejmé, že přeprava chemických látek uvedených v tabulce IV je při



Obr. 1. Vstupní parametry a výstup simulace úniku benzínu, hodnocení SW nástrojem TerEx

Tabulka III  
Ohrožená oblast při úniku 60 tun nebezpečné látky z železniční cisterny

Nebezpečná chem. látka	Objem [t]	Jednorázový únik – hořící louže kapaliny	Mortalita 10 % ve vzdálenosti [m]	Popáleniny 1. stupně ve vzdálenosti [m]
Benzín	60	POOL FIRE	129	220
Nafta	60	POOL FIRE	115	195
Benzen	60	POOL FIRE	110	186



Obr. 2. Vstupní parametry a výstup simulace úniku chloru, hodnocení SW nástrojem TerEx

haváriích cisteren na železnici mnohem nebezpečnější než u hořlavin. V rámci výpočtu byly provedeny simulace pro havárii jednoho cisternového vagonu, který přepravuje nebezpečnou látku, ale pro vzájemné srovnání byly provedeny simulace na 60 tun přepravovaného chloru, amoniaku a chlorovodíku. Z výpočtu vyplynulo, že chlor a chlorovodík mají velmi podobné zóny ohrožení, ze kterých by v případě havárie bylo nutné evakuovat ohrožené obyvatelstvo. Při úniku 60 tun chloru či chlorovodíku je zóna ohrožení téměř 15 kilometrů ve směru větru od havárie. Při takto velké zóně ohrožení musí být obyvatelstvo varováno a připraveno provádět opatření v rámci ochrany obyvatelstva. Nutno dodat, že překvapivě nejsou u kompetentních státních orgánů žádné SW modelovací nástroje pro vyhodnocování závažných havarijních úniků nebezpečných chemických látek a směsí.

#### 4. Bezpečnostní plán správy železnic pro přepravu vysoce rizikových věcí

Obsahem Bezpečnostního plánu Správy železnic pro přepravu vysoce rizikových nebezpečných věcí (VRNV)<sup>12</sup> je vytvoření nezbytně nutných podmínek k minimalizaci možnosti zneužití VRNV k teroristickým účelům a vzniku mimořádných událostí v souvislosti s přepravami nebezpečných věcí. Navazujícími dokumenty k Bezpečnostnímu plánu Správy železnic jsou Místní bezpečnostní plány a slouží jako jeho upřesnění na místní podmínky v rámci stanovené územní působnosti. Cílem těchto dokumentů je vytvoření nezbytně nutných podmínek k minimalizaci možnosti vzniku mimořádných událostí v souvislosti s přepravou VRNV.

V případě havárie s únikem nebezpečných látek se postupuje podle směrnice Správy železnic SM103 Řešení ekologických škodních událostí<sup>13</sup>.

Tabulka IV

Dosah nehody při úniku nejčastěji přepravovaných nebezpečných látek po železnici

Nebezpečná chemická látka	Objem cisterny [m <sup>3</sup> ]	Bezpečnostní rezerva	Model incidentu	Hmotnost uniklé látky [t]	Dosah nehody [m]
Chlor	50	hustota plnění 1,25 t m <sup>-3</sup>	jednorázový únik vroucí kapaliny	60	14 588
Amoniak	45	hustota plnění 0,6 t m <sup>-3</sup>	jednorázový únik vroucí kapaliny	27	4 777
Amoniak	2 × 45	hustota plnění 0,6 t m <sup>-3</sup>	jednorázový únik vroucí kapaliny	60	6 669
Chlorovodík	50	hustota plnění 0,8 t m <sup>-3</sup>	jednorázový únik vroucí kapaliny	40	12 544
Chlorovodík	2 × 50	hustota plnění 0,8 t m <sup>-3</sup>	jednorázový únik vroucí kapaliny	60	14 897

V případě úniku přepravovaných nebezpečných věcí nebo VRNV ve stanici je možné omezit nebo zastavit provoz na vedlejších kolejích, případně i větším území, a to v závislosti na velikosti zasaženého území. V případě nutnosti je možné zastavit provoz celé stanice. Informace o předpokládané velikosti zasaženého území nebo skutečné ploše zasaženého území (na základě provedeného průzkumu) poskytne velitel zásahu nebo jím určená osoba na místě události. Tento postup je možné aplikovat i na celé trati.

Pro případ, že dojde k závadě na voze přepravujícím VRNV a je nutné takovýto vůz odstavit, je stanoven konkrétní postup.

#### Realizace opatření Bezpečnostního plánu v praxi

V souvislosti s ustanoveními Bezpečnostního plánu Správy železnic a praxí se ukazuje především to, že zásadní roli v případě vzniku nehody s přepravou VRNV hraje co nejrychlejší reakce na událost a přijetí následných opatření k ochraně života a zdraví osob, životního prostředí na místě nehody a jeho okolí. Nezastupitelnou roli zde má řízení provozu – Centrální dispečerské pracoviště (CDP), které musí rozhodnout, zda se provoz na trati zastaví a přepravované osoby budou z vlaků evakuovány, nebo vlaky mohou místem projet za přijetí potřebných opatření apod. Centrální operační středisko (COIS) zabezpečí provádění potřebných záchranných a likvidačních prací silami HZS Správy železnic nebo HZS ČR. Toto rozhodování je podmíněno potřebnou znalostí nejen výše uvedených vydaných dokumentů, ale i znalostí fyzikálních a chemických vlastností přepravovaných věcí především z hlediska toxicity, výbušnosti, hořlavosti a způsobu šíření oblaku v závislosti na povětrnostních podmínkách. To lze zajistit potřebným školením dotčených zaměstnanců. Lze využít i odpovídající softwarové programy (ALOHA<sup>11</sup>, TerEx<sup>12</sup>, ROZEX-Alarm<sup>13</sup>) a samozřejmě i vhodné databáze nebezpečných látek, jako je například MEDIS-Alarm<sup>14,15</sup>.

## 5. Návrh ke zvýšení bezpečnosti přepravy nebezpečných věcí po železnici

Autoři příspěvku vytvořili vlastní návrhy ke zvýšení bezpečnosti přepravy nebezpečných věcí v České republice. Jako vhodná odborná platforma se jeví workshop pro zvané bezpečnostní experty České republiky na diskutovanou bezpečnostní problematiku. Ideálním organizátorem by mohlo a mělo být Ministerstvo dopravy České republiky. Zde by bylo možno předložit a diskutovat jak různá akademická zamyšlení a myšlenkové experimenty, tak i poučné příklady železničních nehod a havárií.

Níže je předložen strukturovaný návrh:

- Zvýšení bezpečnostních standardů a kontrol
  - Pravidelné technické kontroly vozidel: Zavést přísnější a častější kontroly technického stavu kotlových vozů přepravujících nebezpečné věci. Vyřazení starých jednoplaťových železničních cisteren z přepravy nebezpečných látek.
  - Monitorovací systémy: Povinná instalace GPS a senzorů monitorujících teplotu, tlak nebo netěsnosti v cisternách a kontejnerech.
  - Železniční kontroly: Zvýšit počet a kvalitu železničních kontrol zaměřených na přepravu nebezpečných věcí, včetně dodržování nejvyšší povolené rychlosti.
- Zlepšení dopravní infrastruktury
  - Vyhrazené trasy: V případech, kdy je to možné realizovat (cílová stanice), zavést speciální trasy pro přepravu nebezpečných věcí, které minimalizují průjezd hustě osídlenými oblastmi (tato oblast je bohužel v České republice stále silně podceňována).
  - Mosty a tunely: Zajistit, aby infrastruktura byla přizpůsobena přepravě nebezpečných věcí, např. bezpečnostní opatření v tunelech a na mostech.
- Lepší personální příprava pomocí náročných odborných školení
  - Vzdělávání strojvedoucích a dalšího personálu: Zajistit jejich kvalitní pravidelné školení a certifi-

kaci pro manipulaci s nebezpečnými věcmi v souladu s RID.

- Školení záchranných složek: Zkvalitňovat školení záchranných složek (hasiči, policie, zdravotnická záchranná služba) pro řešení nehod zahrnujících přepravu nebezpečných věcí včetně pravidelných cvičení.
- Legislativní změny a úpravy
  - Harmonizace s Evropskou unií: Aktualizovat a harmonizovat legislativu v souladu s nejnovějšími předpisy Evropské unie a doporučeními RID.
  - Přísnější sankce: Zavést vyšší pokuty za porušení bezpečnostních předpisů během železniční přepravy nebezpečných věcí.
  - Povinné pojištění: Zajistit, aby všechny železniční soupravy přepravující nebezpečné věci měly odpovídající pojištění kryjící nehody a škody na životním prostředí.
- Zavedení moderních technologií
  - Digitalizace dokumentace: Elektronické systémy pro sledování zásilek a jejich bezpečnostních parametrů.
  - Automatizace: Prozkoumat možnosti autonomních vozidel s vysokými bezpečnostními standardy.
  - Ekologické a bezpečnostní inovace: Podporovat vývoj a implementaci vozidel a obalů odolných proti nehodám.
- Prevence a krizové řízení
  - Simulace a cvičení: Organizovat pravidelné simulace mimořádných událostí v případě železničních nehod.
  - Efektivní krizová komunikace: Zdokonalit a zkvalitnit systémy rychlého varování pro ohrožené obyvatele v případě úniku nebezpečných věcí.
  - Evakuační plány: Zpracovat nebo zlepšit evakuační plány a intervenční postupy v oblastech potenciálně ohrožených železniční dopravou.

## 6. Závěr

Vzhledem k četnosti a rizikům nehod vyplývajících z přepravy nebezpečných věcí po železnici, včetně možnosti naplánování teroristického útoku jako nehody, je patrné, že je nutné věnovat náležitou pozornost předcházení vzniku incidentů (prevenci). Je nutné zpracování potřebné dokumentace, školení zaměstnanců, příprava obyvatelstva, zabezpečení potřebných sil a prostředků k provádění záchranných a likvidačních prací a přijímání potřebných dalších opatření na základě vyhodnocování příčin vzniklých mimořádných událostí souvisejících s přepravou nebezpečných věcí.

Lze konstatovat, že přeprava nebezpečných věcí v ČR se řídí a je dodržována v souladu s mezinárodními dohodami (především RID) a dalšími plány a dokumenty vydanými v návaznosti na tuto dohodu a souvisejícími se zajiš-

ťováním bezpečnosti přepravy a ochraně zdraví osob a životního prostředí.

Nelze však vyloučit, a praxe to ukazuje, vznik mimořádných událostí s únikem nebezpečných věcí (látek) do okolí.

Na vině takovýchto událostí může být především:

- lidský faktor (nedodržování stanovených postupů, teroristický útok nebo činnost psychicky narušeného člověka apod.);
- přírodní vlivy (povodně, tornádo, přívalové deště, vysoké mrazy, sněhové kalamity, sesuvy půdy nebo skal, zásah bleskem apod.);
- únava materiálu nebo technická závada na lokomotivách, vagonech, cisternách apod.

Pokud by se mělo řešit stanovení maximálního množství přepravované látky v závislosti na druhu a nebezpečnosti přepravované látky v jedné železniční soupravě, je potřebné uvažovat komplexnější hlediska. Jde především o:

- Zvládlo by se požadované množství přepravovaných věcí více soupravami na už tak kapacitně přeplněných tratích?
- Nezvýšilo by se pak riziko vzniku události s vyšším počtem souprav?
- Nemělo by toto omezení platit pouze na vybrané vysoce rizikové látky?

Je možné uvažovat o omezení množství přepravované látky v jedné soupravě pro vybrané vysoce rizikové látky. Pro co nejrychlejší a správnou reakci na vzniklou událost v souvislosti se zastavením provozu na trati, evakuaci cestujících apod. je potřebná nejen rychlá informovanost dispečerských pracovišť (CDP, COIS), ale i jejich orientace (potřebná základní znalost o působení uniklé nebezpečné látky na okolí). K tomu lze využívat odpovídající softwarové programy (ALOHA, TerEx, ROZEX-Alarm). Potřebná je také co nejrychlejší komunikace s bezpečnostním poradcem a využití informací od středisek TRINS<sup>19</sup>. Pro vizuální informaci o situaci v místě nehody v aktuálním čase využívat drony, které jsou ve vybavení HZS Správy železnic i HZS ČR.

## LITERATURA

1. Zákon č. 266/1994 Sb. *o drahách*.
2. Konečný P., Miletín P., Miletín J.: *Klasifikace nebezpečných věcí*, 21. října 2025, Praha: Verlag Dashofer, <https://www.enviprofi.cz/33/klasifikace-nebezpecnych-veci-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ei6uuHfcNrOcr2bDMCcaqyg/>, staženo 19. 12. 2025.
3. *Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí* (Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses), známý pod zkratkou RID.
4. *Drážní úřad České republiky*, <https://du.gov.cz/o-nas/historie-a-poslani-uradu/>, staženo 19. 12. 2025.
5. *Ministerstvo dopravy České republiky*, <https://md.gov.cz/>, staženo 19. 12. 2025.

6. Správa železnic s. o., <https://www.spravazeleznic.cz/>, staženo 19. 12. 2025.
7. Rolová M.: *Statistika přepravy nebezpečných věcí*, Správa železnic s. o., Praha, 30. června 2025, interní data.
8. Malachova H. a spol.: Modelling programme for education at University of Defence. In: *New Horizons in Education and Educational Technology. Proceedings of the 7th Conference on 7th WSEAS International Conference on Applied Informatics and Communications, Athens, Greece*, str. 187–192. World Scientific and Engineering Academy and Society, 2007. ISSN 1790-5117. ISBN 978-960-6766-16-9.
9. Teplý P., Janoušková S., Distler P.: *Chem. Listy 118*, 164 (2024).
10. Oulehlová A., Tušer I., Rehak D.: Environmental Risk Assessment of a Diesel Fuel Tank: *Sustainability* 13, 6537 (2021), <https://doi.org/10.3390/su13126537>, staženo 19. 12. 2025.
11. Danihelka P.: Identifikace a základní hodnocení nebezpečí a rizik při požáru cisteren benzenu v Hustopečích. *Časopis 112*, ročník XXIV, č. 5, 20 (2025). Hasičský záchranný sbor ČR. ISSN 1213-7057.
12. Správa železnic, s. o.: *Bezpečnostní plán Správy železnic pro přepravu vysoce rizikových nebezpečných věcí*. Praha: SŽ – GR, Odbor bezpečnosti a krizového řízení, 2025, interní data.
13. Správa železnic, s. o. *SŽ SM 103 Řešení ekologických škodních událostí*. Praha: SŽ - GR, Odbor bezpečnosti a krizového řízení, 2020.
14. *Americký software ALOHA, Areal Locations of Hazardous Atmospheres*, United States Environmental Protection Agency, User's Manual, February 2007, <https://www.epa.gov/comeo/aloha-software>, staženo 19. 12. 2025.
15. *Český software TerEx*, T-soft, a. s. Praha 2025, <https://tsoft.cz/teroristicky-expert/>, staženo 19. 12. 2025.
16. *Český software ROZEX-Alarm*, TLP Solution, s. r. o., Praha 2025, <https://www.tlp-solutions.cz/produkty/software-rozex/>, staženo 19. 12. 2025.
17. *Česká databáze nebezpečných látek MEDIS-Alarm*, MEDISTYL s.r.o. Praha 2025, <https://www.medistyl.cz/chemie/databaze/medis-alarm/>, staženo 19. 12. 2025.
18. Mika O. J., Polívka L., Malinovský K., Matýs T.: *Chem. Listy 118*, 169 (2024).
19. *Transportní informační a nehodový systém (TRINS)*, Svaz chemického průmyslu České republiky, Praha 2025, <https://www.schp.cz/info/trins>, staženo 19. 12. 2025.

**L. Polívka<sup>a</sup>, O. J. Mika<sup>a</sup>, and J. Barta<sup>b</sup>** (<sup>a</sup> Faculty of Security Management, Department of Crisis Management, Police Academy of the Czech Republic in Prague, Prague, <sup>b</sup> Faculty of Leadership Management, Defence University in Brno, Brno, Czech Republic): **Safety of Dangerous Goods Transport by Rail in the Czech Republic**

The safety of the transport of dangerous goods by rail in the Czech Republic is discussed from the view of binding legal standards. Specific data on this dangerous transport are presented according to available statistics. The next section presents basic software modelling tools. Using the TerEx SW, many specific cases of accidental releases and modelling of the resulting dangerous consequences are presented. Surprisingly, the competent state authorities do not have any SW modelling tools for evaluating serious accidental releases. The authors of the professional contribution present their own set of proposals for increasing the safety of the transport of dangerous goods by rail.

**Keywords:** transport, rail transport, dangerous substance, dangerous goods, international agreements, emergency, accident impact modelling, railway train, rescue and liquidation work, safety plan



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

# 78. Sjezd chemiků 2026 v Ústí nad Labem

Sjezd chemických společností

7. 9. 2026 - 10. 9. 2026

v prostorách Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem



Organizátor:

Česká (a Slovenská) společnost chemická: (<https://csch.cz/>; <https://schems.sk/>)

Přírodovědecká fakulta UJEP, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem ([prf.ujep.cz](http://prf.ujep.cz/); [ujep.cz](http://ujep.cz))

35 let od vzniku UJEP

170 let ústecké Spolchemie

120. ročník časopisu Chemické listy



ULOŽTE SI  
TERMÍN

13. mezinárodní chemicko-technologická konference  
13<sup>th</sup> International Conference on Chemical Technology

13.–15. dubna 2026  
Mikulov, Czech Republic

Registrace, formulář k zaslání  
abstrakt a další informace od  
října 2026 na [www.icct.cz](http://www.icct.cz).



---

**OBSAH****ÚVODNÍK**

**Važme si času** 121  
F. Švec

**REFERÁTY**

**Historie škrobu, potažmo v českých zemích,  
a výuka technologie jeho výroby na VŠCHT Praha** 123  
P. Drašar a E. Šárka

**Výzkum a vývoj elektromigračních metod  
v Československu, Česku a Slovensku od jejich  
počátků až po současnost** 132  
V. Kašička

**Jak květ umrlčí zahání zlé duchy ale stará se  
o přátelství** 145  
M. Jurášek, L. Opletal, L. Cahlíková a P. Drašar

**PŮVODNÍ A METODICKÉ PRÁCE**

**Elektroforetické stanovení bromidů v tělních  
tekutinách** 149  
P. Tůma

**CHEMICKÝ PRŮMYSL**

**Bezpečnost přepravy nebezpečných věcí  
po železnici v České republice** 154  
L. Polívka, O. J. Mika a J. Barta

---

**CONTENTS****EDITORIAL**

**Let Us Appreciate the Time** 121  
F. Švec

**REVIEW ARTICLES**

**History of Starch, Especially in the Czech Lands,  
and Teaching of Its Production Technology  
at the University of Chemistry and Technology,  
Prague** 123  
P. Drašar and E. Šárka

**Research and Development of Electromigration  
Methods in Czechoslovakia, Czechia and Slovakia  
from their Beginnings to the Present Days** 132  
V. Kašička


**How the Sorcerer's Violet Drives Away Evil  
Spirits but Cares for Friendship** 145  
M. Jurášek, L. Opletal, L. Cahlíková, and P. Drašar

**ORIGINAL AND METHODOICAL PAPERS**

**Electrophoretic Determination of Bromides  
in Body Fluids** 149  
P. Tůma

**CHEMICAL INDUSTRY**

**Safety of Dangerous Goods Transport by Rail  
in the Czech Republic** 154  
L. Polívka, O. J. Mika, and J. Barta




# Cena Alfreda Badera

pro mladé české chemiky do 35 let  
za významné výsledky v oblastech organické,  
bioorganické a bioanorganické chemie


Odměna ve výši 5400 USD

**Přihlaste se do 15. 6. 2026**



Cenu Alfreda Badera uděluje  
Česká společnost chemická

chem.spol@csvts.cz  
www.csch.cz



**CHEMICKÉ LISTY • ročník/volume 120 (2026), čís./no. 3 • LISTY CHEMICKÉ, roč./vol. 150, ČASOPIS PRO PRŮMYSL CHEMICKÝ, roč./vol. 136 • ISSN 0009-2770, ISSN 1213-7103 (e-verze) • evidenci číslo MK ČR E 321 • Vydává Česká společnost chemická jako časopis Asociace českých chemických společností ve spolupráci s VŠCHT Praha, s ČSPCH a ÚOCHB AV ČR za finanční podpory Rady vědeckých společností ČR, Akademie věd ČR, Nadace Český literární fond a kolektivních členů ČSCH • IČO 444715 • Published by the Czech Chemical Society • VEDOUCÍ REDAKTOR/EDITOR-IN-CHIEF: V. Vyskočil • REDAKTORI/EDITORS: J. Barek, E. Benešová, P. Drašar, P. Holý, P. Chuchvalec, M. Jurásek, Z. Kolská, B. Kratochvíl, J. Masák, J. Podešva, P. Šmejkal; Bulletin: P. Drašar; Webové stránky: R. Liboska, V. Vyskočil • ZAHRANIČNÍ A OBLASTNÍ REDAKTORI/FOREIGN AND REGIONAL EDITORS: F. Švec (USA, ČR) • TECHNICKÁ REDAKTORKA/EDITORIAL ASSISTANT: R. Řápková • REDAKČNÍ RADA/ADVISORY BOARD: K. Bláha, L. Červený, E. Dibuszová, L. Grubhoffer, Z. Havlas, M. Hof, Z. Hostomský, M. Koman, P. Konvalinka, J. Kotek, J. Koubek, J. Málek, P. Matějka, K. Melzoch, V. Pačes, M. Pospíšil, V. Růžička, P. Slaviček, J. Zima, T. Zima • ADRESA PRO ZASÍLÁNÍ PŘÍSPĚVKŮ/MANUSCRIPTS IN CZECH, SLOVAK OR ENGLISH CAN BE SENT TO: Chemické listy, Novotného Lávka 5, 116 68 Praha 1; tel./phone +420 221 082 370, e-mail: chem.listy@csvts.cz • INFORMACE O PŘEDPLATNÉM, OBJEDNÁVKY, PRODEJ JEDNOTLIVÝCH ČÍSEL A INZERCE/INFORMATION ADS: Sekretariát ČSCH, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1; tel. +420 221 082 383, e-mail: chem.spol@csvts.cz, chem.ekonom@csvts.cz • PLNÁ VERZE NA INTERNETU/FULL VERSION ON URL: <http://www.chemicke-listy.cz> • TISK: TG TISK s.r.o., 5. května 1010, 563 01 Lanškroun • SAZBA, ZLOM: ČSCH, Chemické listy • Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 • Cena výtisku 180 Kč, roční plné předplatné 2026 (12 čísel) 1810 Kč, individuální členské předplatné pro členy ČSCH 900 Kč. Roční předplatné ve Slovenské republice 96 EUR (doručování via SCHS), individuální členské předplatné pro členy ČSCH 73 EUR (doručování via SCHS), 96 EUR + poštovné (individuální doručování), ceny jsou uvedeny včetně DPH • DISTRIBUTION ABROAD: KUBON & SAGNER, POB 34 01 08, D-80328 Munich, FRG • Pokyny pro autory najdete na <http://www.chemicke-listy.cz>, zkratky časopisů podle Chemical Abstract Service Source Index (viz <http://cassi.cas.org/search.jsp>) • Chemické listy obsahující Bulletin jsou zaslány zdarma všem individuálním a kolektivním členům ČSCH a ČSPCH v ČR i zahraničí, do všech relevantních knihoven v ČR a významným představitelům české chemie a chemického průmyslu; v rámci dohod o spolupráci i členům dalších odborných společností • Molekulární námet na obálce: Nanočástice stříbra imobilizované na povrchu PEEK (Vzorek připraven metodou LIFT; snímek FEG-SEM, zvětšeno 75 000×. Původní barvy jsou upraveny. Podrobnosti k obrázku a vzorku hledejte v článku: Siegel J., Vyhňálková B., Savenkova T., Pryjmaková J., Slepíčka P., Šlouf M., Hubáček T.: Int. J. Mol. Sci. 24, 1432 (2023)). Foto: M. Šlouf • Dáno do tisku 24.2.2026.**

# Chemcast

## – podcast Nadace ORLEN Unipetrol

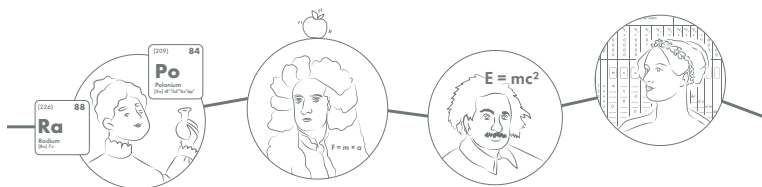
Studentské podcasty, ve kterých se v rámci různých témat podíváme na život významných vědců a vynálezců v našich historických okénkách „Po stopách vědců“. Společně s odborníky z ORLEN Unipetrolu a specialisty z daných oborů prostřednictvím rozhovorů **nahlédneme do zákulisí chemického průmyslu, vědy a technologií, které ovlivňují náš každodenní život.**



- V rámci tématu ropa jsme pro vás připravili rozhovor s doc. Ing. Jaromírem Ledererem, CSc. Moderátorka Adéla vás provede rozhovorem, ve kterém se dozvíte o kariérní cestě našeho hosta, představí vám areál ORLEN Unipetrol, proměny vnímání rafinérského a petrochemického průmyslu i to, jak geopolitika ovlivňuje toto odvětví.

- S Apolenou a Vojtou se pak podíváte na život **Jana Józefa Ignacyho Łukasiewicze** – polského chemika, lékárníka a vynálezce petrolejové lampy, který se stal průkopníkem ve zpracování ropy.

## CHEMCAST PO STOPÁCH VĚDCŮ



Vydejte se s námi na inspirativní cestu plnou objevů a příběhů, které stojí za to poznat!



**ORLEN**  
UNIPETROL  
NADACE

**Sigma-Aldrich®**

Lab & Production Materials

**MERCK**

SYNTHIA® Retrosynthesis Software

# Discovery at Your Fingertips

Retrosynthesis for Every Lab - SYNTHIA® Lab

Expert-coded by chemists and engineered by computer scientists, SYNTHIA® allows scientists to quickly discover novel pathways for new and published target molecules.

**50%  
off**

**LIMITED TIME ONLY**

Available for small academic groups and non-profit labs.

**12 Months Deal**

Only **37 750 CZK**

(normally 75 000 CZK)

**Offer Highlights**

- Unlimited number of molecules to run
- Up to 10 full users, no installation
- Automatic Retrosynthesis, Step-by-step Analysis, Similarity Search

[www.digitalchemistry.ai](http://www.digitalchemistry.ai)

The Life Science  
business of Merck  
KGaA, Darmstadt,  
Germany operates  
as Millipore Sigma in  
the US and Canada.