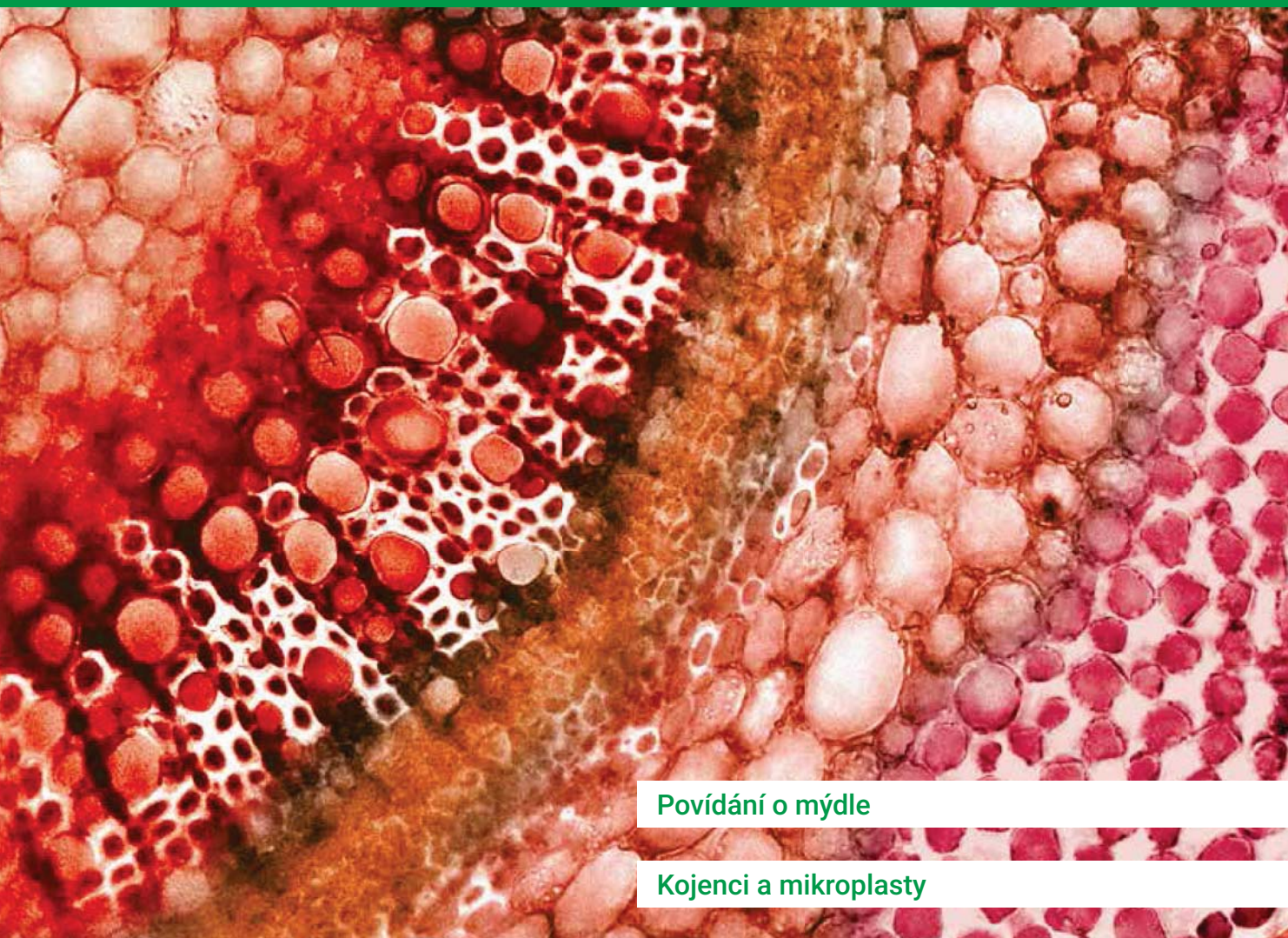


# Chemické Listy

# 2

ročník • 119



Povídání o mýdle

Kojenci a mikroplasty

Zničení chemických zbraní

Remineralizace pitné vody?

Mikroskopie v laboratorní výuce





## Kde je brát? Krvinky pro novou krev chemického výzkumu, průmyslu i vzdělávání

Úvodník čísla 2/2025 jsem si k vám do Chemických listů odskočila napsat ze své domoviny, čili časopisu Chemagazín, který šéfredaktorují. Kývla jsem na „výměnu editorových sloupků“ s vaším médiem, protože prof. Bohumil Kratochvíl, váš dlouholetý šéfredaktor, napsal nedávno sloupek do Chemagazínu číslo 5/2024, na kterém se coby jeden z organizátorů říjnové konference věnované farmacii a biotechnologiím podílel. Tak mě tady tedy máte a já bych se ráda podělila o pár svých postřehů na ožehavé téma vzdělávání budoucí krve pro chemický výzkum, praxi či sféru vzdělávání, tj. i vašich budoucích čtenářů i autorů článků tvořících obsah Chemických listů.

### Výuka chemie na základních a středních školách

Dali jsme ho světu. Koho? Jana Amose Komenského, muže, který vytvořil nový koncept výuky dětí. Naším jazykem (tedy jazykem evropských projektů) mu říkáme zážitkové učení. Děti se učí zážitkem. To je přeci logické a pro přírodovědné obory je to velice vhodné. Vyzkoušet si, jak a proč děje fungují. Ale pozor, to neznamená slévat vše odpředu dozadu a jásat nad barevnými změnami či vznikajícím kouřem a ohněm. Žák by se měl dozvědět, co se děje a proč tomu tak je, ne se jen bavit a vyhlížet, co dalšího popadne a slyje dohromady. Bohužel řada rádobý vzdělávacích programů poskytuje právě jen to pobavení. Další, co mne udivuje, jsou diskuse, zda do chemie patří výpočty, zda to už dnes není příliš. Než ale vůbec začnu něco vážít, odměřovat, rozpouštět, musím vědět, jaký roztok mám připravit. Takže si musím přečíst, co budu dělat, a pak si docela jednoduše spočítat, kolik čeho navázit a odměřit. Fobie z matematiky je obrovská, a proto často slyším, že výpočty je třeba z chemie (postupně) odstraňovat. Nejsm pro hodiny chemických praktik či semináře, kde se jen počítá a počítá a pak není čas na experimentování. To ne. Ale logické úvahy dovedené do jednoduchých výpočtů – bez toho se neobejdeme. Hospodynka si také přece musí přečíst recept, navázit a odměřit suroviny a ne míchat je podle hesla „přiměřeně, odměřeně...“. Popelkou v chemii jsou stále experimenty, ale ty do výuky rozhodně musí být zařazovány, ať již ty frontální před tabulí, co stojí učitele hodně práce je připravit a odladit, ale to je chemie, anebo ty jednodušší a bezpečné, co mají žáci provádět ve skupinách jednou za čas v hodině laborek a praktik. Ruku na srdce, kde se ale takhle pravidelně učí? Ano, jsou učitelé, co chemii učí se zařazováním experimentů, ale je i řada těch, co pouští videa, nasazují 3D brýle anebo jen pracují s informacemi z internetu či jiných zdrojů. Namítnete, že jsou pod tlakem z obavy o bezpečnost žáků, že jim to neumožňují ředitelé/ky, že nemají vybavení laboratoří. Takže ti, co učí s experimenty, učí na Marsu, kde jsou jiná pravidla?

## Hra na vědce a vědkyni aneb středoškoláci ve vědě

Koncem roku, u příležitosti výročí narození Jaroslava Heyrovského (20.12.1890), Nadační fond Jaroslava Heyrovského (NFJH), ve kterém dlouhodobě pracuji, každoročně oceňuje středoškoláky, kteří se významně zapsali do pořadí v soutěžích různých předmětových olympiád nebo jsou autory skvělých prací z celonárodní přehlídky soutěže SOČ. Nedávno se zrodila (ale snad i brzy zanikla) kauza okolo pojmenování těchto soutěží. Desítky let jsou to fyzikální či chemická olympiáda a další oborové olympiády, včetně dějepisné a olympiády v českém jazyce. Ostrá připomínka olympijského výboru (toho sportovního) o nevhodnosti pojmenování těchto soutěží snad již byla vyřešena a talentovaní, pilní a zvidaví studenti a studentky se dále budou připravovat na republiková kola a ti nejlepší na mezinárodní olympiády. Takto již totiž vyrostly celé generace mladých vědců a vědkyň, z nichž řada dnes pracuje v akademických či univerzitních laboratořích, nebo jiných institucích zabývajících se výzkumem, a to nejen doma ale i v zahraničí. Spolu se studujícími NFJH také odměňuje jejich vyučující či konzultující, kteří je velice často k jejich zájmu přivedli a podporují je v něm. Je skvělé, když pro své ocenění přicházejí mladí pedagogové, kteří cenu přebírali před několika lety coby studenti.

### Revize RVP – čili jak se bude chemie učit na základce v příštích letech?

To bylo po velkou část roku 2024 a velkou část učitelů ZŠ, ale i SŠ a univerzit, či odborníků z praxe (věda, průmysl) velice výbušným tématem. Sama jsem součástí jedné skupiny odborníků nejen RVP kritizující, ale i nabízející řešení, dosud bohužel nevyслуšené. I my víme, že chemie patří k neoblíbeným předmětům. Slyšíme, že je v ní hodně memorování a faktů, kterým žáci nerozumí. Nový RVP definuje ambiciózní výsledky učení, tj. co si má žák z chemie odnést, ale na druhé straně nestaví na základech chemie, ale bude jakousi „občanskou naukou“ v chemii. Pro mne je zcela nepochopitelné a nemožné, aby se žáci nedozvěděli, proč a jak jsou uspořádány prvky v tabulce, a z toho, na základě jednoduchých faktů o stavbě a elektronegativitě, nahlédli na to, jak prvek (a to by se týkalo jen části prvků, tak 50) reaguje, jaké tvoří vazby, sloučeniny, a z toho jaké má vlastnosti a proč jsou vzniklé látky ve výsledku užitečné či naopak škodí. Když u nás na chemickém workshopu děláme experimenty a já sestavuji vzorce látek, pak rovnici dané reakce, co vidíme záhy v experimentu, jež žáci dělají, tak dostávám odpovědi, že to je logické a že tomu rozumí. Tak kde je problém? Zpátky k revizi RVP: brzy nastane fáze pilotování ukázkových školních vzdělávacích programů (ŠVP), doufám, že dostaneme možnost konečně do výuky chemie dostat chemii. Tato země potřebuje nové odborníky i do chemických oborů a jejich chemické myšlení se „zapaluje“ již na základní škole.

Květa Stejskalová,  
šéfredaktorka Chemagazínu



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.

## POVÍDÁNÍ O MÝDLE

JOSEF NOVÁK<sup>a</sup> a PETR ŠTĚPÁNEK<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Manufaktura s.r.o., Nábřeží 90/4, Praha 5, <sup>b</sup> Ústav chemie přírodních látek, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 6, Praha 6, Česká republika  
stepanee@vscht.cz

Došlo 20.8.24, přijato 20.11.24.

Článek se zaměřuje na původ a historii mýdla, hledání a používání různých zdrojů. Dále pak na vývoj a objevy během průmyslové revoluce a na řešení, která přišla s rozvojem průmyslové chemie. Druhá část popisuje počátky výroby mýdla v českých zemích, intenzivní rozvoj na konci 19. století a postupný úpadek až do současnosti.

Klíčová slova: mýdlo, detergenty, chemická výroba, historie chemie

### Obsah

1. Úvod
2. Historie vzdálená
3. Počátky – Evropa
4. Základy průmyslové výroby mýdla
5. Průmyslová revoluce
6. Výroba mýdla v Českých zemích
  - 6.1. Sága rodu Schichtů
  - 6.2. Současnost výroby mýdla v Čechách

### 1. Úvod

Justus von Liebig (1803–1873), jeden z největších chemiků 19. století, pronesl v roce 1878 zajímavou myšlenku: „*Die Seife ist ein Massstab für den Wohlstand und die Cultur der Staaten.*“<sup>1</sup> Podle Liebiga je tedy mýdlo měřítkem prosperity a kultury států. V té době bylo mýdlo známé více než 4500 let a jeho historie je zrcadlem nejenom vývoje lidské společnosti, ale i rozšiřování vědomostí o podstatě materiálů a surovin. Jinými slovy, mýdlo kopíruje rozvoj znalostí v oblasti chemie, od empirických zkušeností a náhodných objevů, přes optimalizaci průmyslové výroby až po současný „tailor-made design“ s velmi silným akcentem na environmentální aspekty životního cyklu produktu.

Co je to vlastně mýdlo? Obecně se jedná o karboxyláty, soli vyšších mastných kyselin: R-COOX, kde R je uhlíkový řetězec (C10 až C18) a X nejčastěji alkalický kov (Na, K), pro specifické kosmetické aplikace též deriváty ethanolaminu (2-aminoethanolu).

Mýdla se připravují dvěma zásadními způsoby: zmýdlením (saponifikací) tuků a/nebo olejů nebo neutralizací mastných kyselin (Schéma 1)<sup>2</sup>. První způsob byl napros-

tu většinu času jediný, v současné době je stále dominantní.

Dva základní typy mýdel jsou mýdla sodná a draselná. U mýdel sodných lze vysolením (přidáním chloridu sodného) oddělit pevné mýdlo od směsi vody, glycerolu, chloridu sodného a nečistot. Naopak draselné soli mastných kyselin jsou rozpustnější než sodné, a proto draselná mýdla nelze kompletně vysolit. Zahušťují se jen odpařením vody, v mazlavé mýdlové hmotě zůstává glycerol.

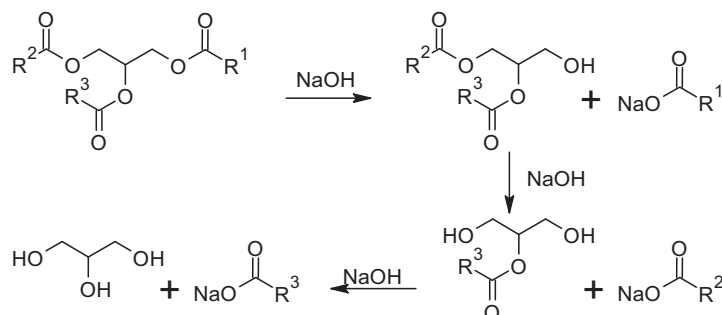
Původně se slovem „mýdlo“ (soap) označovaly produkty pevného skupenství, tedy v naprosté většině produkty obsahující sodné soli vyšších mastných kyselin. Postupem času se tento název přenesl i na další mycí prostředky, resp. na další tenzidy. Z toho důvodu je možné si v současné době zakoupit tekuté mycí, prací či čistící prostředky založené především na alkylsulfátech, či alkylsulfonátech s hrdým tvrzením pro spotřebitele: „bez mýdla“.

Vlastnosti mýdel jsou obecně známé. Jsou stále v alkalickém prostředí, jejich roztoky jsou alkalické. Mají velmi dobré detergenční a emulgační vlastnosti. Jsou citlivé na přítomnost elektrolytů a především na tvrdost vody. Vlastnosti lze cíleně ovlivňovat především složením lipidů. Na rozdíl od jiných detergentů je možné mýdla připravit v domácích podmínkách. V současné době tvoří mýdla zhruba polovinu světové produkce tenzidů (cca 10 milionů tun)<sup>3</sup>.

### 2. Historie vzdálená

Název mýdla – „*sapo*“ je velmi podobný v mnoha jazycích včetně neevropských. Podle starých římských legend bylo mýdlo objeveno při zápalných obětech zvířat na hoře Sapo. Směs tuků a popela se deštěm smývala do hlíny poblíž řeky Tibery. A římské hospodyňky objevily

## Zmýdelnění tuků/olejů



## Neutralizace mastných kyselin

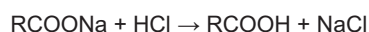
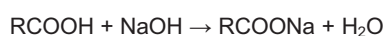


Schéma 1.

pozitivní účinky této hlíny při praní. Žádná hora se jménem Sapo však není doložena, při obětech se vzácným tukem neplýtvalo a k této pověsti se hlásí i jiná antická místa. Pravděpodobnější je výklad římského filosofa, válečníka a spisovatele Plinia staršího (23–79)<sup>4</sup>: „*Prodest et sapo, Galliarum hoc inventum rutilandis capillis. Fit ex sebo et cinere, optimus fagino et caprino, duobus modis, spissus ac liquidus, uterque apud Germanos maiore in usu viris quam feminis.*“ Tedy „Užitečné je také sapo, tento vynález Galů pro zářivé vlasy. Vyrábí se z loje a popela, nejlépe z buku a kozy, na dva způsoby, hustý a tekutý, obojího je u Germánů většího využití pro muže než pro ženy“. Nicméně ani Keltové nejsou vynálezci mýdla.

Zatím nejstarším dokumentem spojeným s mýdlem je Babylonská tabulka, z let 2200 př. n. l., objevená spolu s hliněnými nádobami<sup>5</sup>. Tabulka popisuje sumerský recept (2800 př. n. l.) pro výrobu mýdla z vody, alkálií a oleje. Použití bylo nejspíše v medicíně při léčení kožních chorob a hojení ran.

Nejobsáhlejší dochovaný záznam staroegyptské medicíny je Ebersův papyrus<sup>6</sup>, objevený v Luxoru roku 1873. Vznikl cca 1500 let př. n. l. a popisuje použití směsi olejů a tuků s natronem (směs  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) pro koupele a léčení kožních onemocnění. Egypťané používali také natron pro vysušování těla zemřelého jako nezbytnou součást procesu mumifikace. Těžil se ze dna vyschlých jezer a také na březích Nilu. Vádí „*El Natrun*“, které sloužilo jako jeden ze zdrojů alkalických usazenin, se nachází na severu Egypta východně od delty Nilu. Další recepty s alkalickými minerály se dochovaly i od Féníčanů. Řecký alchymista Zosimos z Panapolisu (3.–4. st. př. n. l.) popisuje výrobu mýdla a jeho použití k očištění těla i oblečení<sup>7</sup>. Rovněž Galén popisuje výrobu mýdla a doporučuje jeho použití i pro osobní očistu<sup>3</sup>. Vý-

roba mýdla tak patří mezi první chemicko-technologické procesy, které lidstvo ve starověku zvládlo a využívalo.

Protože dostupnost alkalických surovin předurčovala specifické oblasti pro snazší rozvoj a vývoj dalších technologií, není překvapivé, že se Střední východ stal zdrojem pro četné termíny, které se v pozměněné podobě používají dodnes. Termín alkálie má svůj původ v arabském slově „*al-qalyah*“ označujícím rostlinný popel, jenž sloužil jako základní surovina pro výrobu zásaditých látek. Stejný etymologický základ sdílí i „*kalium*“, od něhož je odvozen i symbol prvku K. Anglický ekvivalent „*potassium*“ odkazuje na proces výroby jedné ze základních surovin sklářského průmyslu – potaše, konkrétně na nádobu „*Pott*“ určenou k odpařování vody z výluhu dřevěného popela „*Asche*“.

Latinský výraz „*natrium*“, odvozený od staroegyptského „*ntrj*“ /netʃeri/, se vztahoval k alkalickým usazeninám (viz Vádí El Natrun), z něj vychází symbol prvku Na. Vzhledem k významnému vlivu arabské vědy na středověkou evropskou medicínu se předpokládá, že „*sodium*“ etymologicky vychází z arabského „*suda*“ – bolest hlavy. Do češtiny se tato slova transformovala jako „*soda*“ a „*sodík*“. Z německého „*Pottasche*“ se vyvinulo české „*potaš*“ a následně „*draslo*“, odrážející žíravé, drásavé vlastnosti produktu loužení. Od drasla byl pak odvozen název prvku „*draslík*“.

V Bibli je zmínka o mýdle na dvou místech: „*I kdyby ses mýdlem vydrhla a louhu přidala sebevic, skvrna tvé viny přede mnou zůstává, praví Panovník Hospodin.*“ (Jeremiáš 2:22) a „*Kdo však snese den jeho příchodu? Kdo obstojí, až se on ukáže? Bude jako oheň taviče, jako louh těch, kdo bělí plátno.*“ (Malachiáš 3:2).

### 3. Počátky – Evropa

V Evropě vznikaly první mýdlářské dílny v 7. století. Mezi taková místa patřila hlavně Itálie, Francie a Španělsko. Nebyla to ale pouze dostupnost potřebných surovin, která přispěla k rozvoji výroby mýdla v Evropě, podíl na jeho rozmachu měly křížové výpravy (11. až 13. století), které usnadnily mimo jiné kulturní a technologickou výměnu s Orientem.

Ještě v 15. století bylo v Evropě běžné chodit do veřejných lázní, mýt si ruce a dodržovat hygienu. V souvislosti s morovými ranami se rozšířil názor, že voda rozšiřuje póry a umožňuje tak nemocím vstup do těla. Časté mytí bylo prohlášeno za nezdravé a k dalšímu rozvoji hygieny obecně došlo až po třicetileté válce.

Rozvoj to byl ale mimořádný. Zatímco kolonisté v Americe připravovali mýdlo v domácnostech „starověkým“ způsobem z popela a odpadního tuku, v Evropě vznikaly mýdlové manufaktury. V roce 1786 je jen v Marseille 49 mydláren. Jejich 600 dělníků (plus nezjištěný počet trestanců) vyrobilo 76 000 tun mýdla<sup>8</sup>. Bohužel, výroba mýdla v Evropě touto dobou naráží na své limity. Nedostatkovou surovinou se stávají alkálie, které jsou navíc nezbytné i pro další obory, hlavně výrobu skla, barvení textilií, zpracování kůží, bavlny či střelného prachu. Na roční výrobu mýdla pouze v Marseille je třeba popel z cca 2 až 3 milionů tun dřeva. I když se z dnešního pohledu jednalo o výrobu z obnovitelných zdrojů, lesů v Evropě rychle ubývalo a hledaly se další zdroje surovin.

Jako příklad alternativních zdrojů je možné zmínit využívání směsi různých druhů mořských řas nazývaných jako „goémon“ (Bretaň) nebo „varech“ (Normandie). Řasy se sušily a po následném spalení se z popela získávala alkalická surovina. Dalším zdrojem byl popel halofilních středomořských rostlin – rodů *Salicornia* (Slanorožec) a *Salsola* (Slanobýl). Na rozdíl od popela z dřeva stromů je v popelu zmíněných rostlin dominantní alkálií sodík. Používání tohoto druhu popela spolu s kvalitním olivovým olejem a promýváním mýdlové hmoty mořskou vodou



Obr. 1. „SAVON DE MARSEILLE, OLIVE 72 % D’HUILE VÉGÉTALES“ od společnosti MAÎTRE SAVON® DE MARSEILLE, foto: Petr Štěpánek (2024)

založilo slávu marseillského mýdla „*Le savon de Marseille*“, které je známou značkou doposud (obr. 1). Protože jsou původní velmi přísné předpisy ze začátku 19. století již dosti rozvolněny, nabízejí se nyní pod označením marseillské mýdlo běžně i mýdla tekutá.

### 4. Základy průmyslové výroby

Ani popel z přímořských rostlin nedokázal v Evropě pokrýt poptávku po dostupném zdroji alkalických surovin. Zásadité suroviny, především potaš, se stávají vysoce cennou a strategickou surovinou, a tedy především v 17. a 18. století i předmětem regulace cen a celní ochrany.

Britští a francouzští chemici hledali způsob, jak levně vyrábět alkálie z místních zdrojů. V roce 1775 pařížská Académie Royale des Sciences vypsalala cenu za vypracování metody této výroby. Jako nejlepší byl v roce 1789 vybrán postup francouzského chemika Nicolase Leblanca (1742–1806), který mimo jiné působil jako soukromý lékař rodiny Ludvíka Filipa II., vévody orleánského.

Při tomto postupu se nejprve podle již tehdy známé reakce působí na chlorid sodný koncentrovanou kyselinou sírovou za vzniku síranu sodného a kyseliny chlorovodíkové. (Schéma 2a). Dále pak dle Leblancova originálního postupu se síran sodný smísí s uhlíčanem vápenatým a uhlím a taví se v peci. Z vychladlé taveniny je poté uhlíčan sodný vyloužen vodou (Schéma 2b)<sup>9</sup>.

I když postup nebyl jistě ideální, umožnil výrobu sody ve velkém, a to především v začátcích jeho využívání. Chlorovodík byl vypouštěn do vzduchu, případně jako kyselina chlorovodíková do vod. Sulfid vápenatý se na skládkách zvolna rozkládal a uvolňoval sirovodík. Časem se začaly i tyto odpadní produkty alespoň částečně využívat, toho se však už Leblanc nedožil. Leblanc si sice svůj postup nechal patentovat na 15 let a s kapitálem svého zaměstnavatele vybudoval továrnu na výrobu sody, přišla však Velká francouzská revoluce. Ludvík Filip II. se přihlásil k ideálům revoluce a změnil si jméno na Filip Egalité, ale roku 1793 stejně skončil pod gilotinou a továrna byla zkonfiskována. Zpustlá továrna byla roku 1801 Leblancovi vrácena i s malým odškodným, které ovšem nestačilo ani na zaplacení dluhů. Tak jeden ze zakladatelů chemického průmyslu skončil v chudobinci, kde se roku 1806 zastřelil<sup>10</sup>.

Výroba sody Leblancovým postupem dosáhla vrcholu kolem roku 1880. V 70. letech 19. století bylo dominantním výrobcem sody Spojené království s roční produkcí kolem 200 000 tun (cit.<sup>9</sup>).

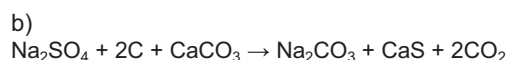
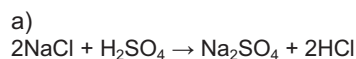


Schéma 2. Leblancův proces

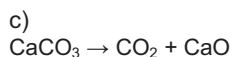
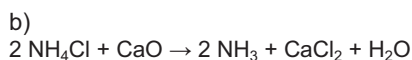
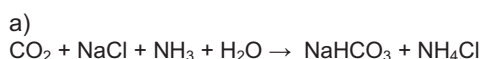
S nárůstem výroby se též naplno začaly projevat negativní dopady vzniku vedlejších, výše zmíněných produktů při výrobě sody, především chlorovodíku a sirovodíku uvolňujícího se ze sulfidu vápenatého. Firmy produkuje sodu pomocí Leblancova procesu se stávaly terčí žalob a právních sporů. Například žaloba z roku 1839 proti společnosti vyrábějící sodu ve Spojeném království uvádí, že „*the gas from these manufactories is of such a deleterious nature as to blight everything within its influence, and is alike baneful to health and property. The herbage of the fields in their vicinity is scorched, the gardens neither yield fruit nor vegetables; many flourishing trees have lately become rotten naked sticks. Cattle and poultry droop and pine away. It tarnishes the furniture in our houses, and when we are exposed to it, which is of frequent occurrence, we are afflicted with coughs and pains in the head.*“ Tedy „*plyn z těchto manufaktur je tak škodlivé povahy, že ničí vše, co je v jeho dosahu, a je škodlivý jak pro zdraví, tak pro majetek. Byliny na polích v jejich okolí jsou spálené, zahrady nedávají ani ovoce, ani zeleninu; z mnoha kvetoucích stromů se v poslední době staly shnilé holé tyče. Dobytek a drůbež chřadnou a chřadnou. Znehodnocuje nábytek v našich domech, a když jsme mu vystaveni, což se stává často, trápí nás kašel a bolesti hlavy.*“<sup>11</sup>. I když se mnozí domnívají, že environmentální legislativa a restrikce dotýkající se chemických a průmyslových výrob je tématem především 20. a 21. století, schválil britský parlament již v roce 1863 „*Alkali Act*“ (An Act for the more effectual condensation of Muratic Acid Gas in Alkali Works), který omezoval množství chlorovodíku vypouštěného do ovzduší při výrobě sody Leblancovým procesem<sup>12</sup>. Jednalo se tak o první moderní zákon upravující znečištění ovzduší. V té době už byla našťástí na obzoru další revoluce ve výrobě tohoto nedostatkového materiálu.

## 5. Průmyslová revoluce

Roku 1861 belgický chemik Ernest Solvay (1838–1922) objevil metodu přeměny chloridu sodného na uhličitán sodný působením amoniaku a oxidu uhličitého. Solvayův způsob byl ekonomičtější a z dnešního pohledu i ekologičtější než Leblancův proces. Oxid uhličitý a amoniak se znovu vrací do procesu a odpadní látkou je chlorid vápenatý.

V prvním kroku oxid uhličitý prochází nasyceným roztokem chloridu sodného a amoniaku (Schéma 3a). Hydrogenuhličitán sodný je odfiltrován z roztoku a dále se na horký roztok chloridu amonného působí oxidem vápenatým (Schéma 3b). Oxid vápenatý se získává tepelným rozkladem uhličitánu vápenatého (Schéma 3c). Vysrážený hydrogenuhličitán sodný z prvního kroku je pak zahřevem převeden na finální uhličitán sodný (Schéma 3d)<sup>13</sup>.

Stejně jako u Leblancova způsobu bylo nutno navrhnout a vyrobit nová průmyslová zařízení. Většina světové výroby sody je i nyní založena na Solvayově principu, pouze v USA převažuje výroba z minerálu



### Schéma 3. Solvayův proces výroby sody

trona –  $\text{Na}_3(\text{CO}_3)(\text{HCO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Velké zásoby trony jsou kromě USA ještě v Keni a Turecku.

Na rozdíl od Leblanca byl Solvay úspěšný i ekonomicky a společensky. Vybuodoval velké průmyslové impérium, které nyní patří do desítky největších nadnárodních chemických koncernů. Inicioval vznik konferencí o fyzice a chemii, které v tříletých intervalech probíhají dodnes. Především seznam účastníků konferencí o fyzice je přehlídkou nositelů Nobelových cen a dějinami fyziky 20. století (A. Einstein, N. Bohr, M. Sklodowska-Curie, W. Heisenberg, P. Dirac, E. Schrödinger, M. Born, M. Planck, W. Pauli, R. Oppenheimer...)<sup>14</sup>.

Ostatně, celé 19. století je přehlídkou známých jmen i ve výrobě a prodeji mýdla, což jde ruku v ruce s rozvojem chemického průmyslu a chemie obecně. Roku 1807 anglický holič a amatérský chemik Andrew Pears (1770–1845) vyrábí první transparentní glycerinové mýdlo. Společnost Pearsových dědiců pak přebere na začátku 20. století (1914) firma Lever Brothers. O ní bude ještě řeč.

V roce 1837 v Cincinnati anglický výrobce svíček William Procter (1801–1884) a irský výrobce mýdla James Gamble (1803–1891) na popud společného tchána – jejich manželky byly sestry – zakládají firmu. O jednapadesát let později James Gamble jr. vyvíjí (údajně chybou laboranta) ikonické mýdlo Ivory, které plave na vodě. V roce 1932 Procter & Gamble zavádí kontinuální výrobu mýdla. Téhož roku začíná firma významně sponzorovat a později i produkovat mnohadílné rozhlasové „telenovely“, určené především hospodynkám a proložené reklamami. Zrodil se název „*soap opera*“<sup>15</sup>.

Další osobou, která původně pocházela z Anglie a založila úspěšné podnikání založené na mýdle, byl William Colgate (1783–1857). William Colgate začínal v New Yorku v roce 1804 jako pomocník ve výrobě mýdla. V roce 1806 založil na Manhattanu firmu zabývající se podnikáním se škrobem, mýdlem a svíčkami. Během času se vypracoval až na jednoho z nejbohatších občanů v New Yorku. V roce 1928 se společnost Colgate spojuje se společností Palmolive (pojmenované podle jejího neúspěšnějšího produktu: mýdla vyráběného z palmového a olivového oleje) a vzniká společnost Colgate Palmolive Peet Company. V roce 1953 je pak transformována do

Colgate-Palmolive Company, tato nadnárodní společnost je v současnosti jednou z největších společností v oblasti kosmetiky a detergentů<sup>16</sup>.

V souvislosti s rozvojem výroby mýdla, resp. s porozuměním složení a chemické podstatě procesu spojeného s výrobou mýdla a dynamickým rozvojem průmyslu je nezbytné zmínit Michela Eugèna Chevreula (1786–1889), nazývaného též otcem chemie lipidů (obr. 2). Michele Eugène pokračoval v rodinné tradici lékárníků a lékařů. Nicméně v jeho případě se po absolvování l'Ecole Centrale v rodném Angers rozhodl pro chemii. Na jeho další profesní směřování měl zásadní dopad i Louis Vaquelin (1763–1829), do jehož laboratoře v Muséum National d'histoire naturelle nastoupil. Louis Vaquelin, který mimo jiné objevil berylium a chrom, se věnoval též studiu biologických materiálů, byl též jedním z prvních, který byl schopný oddělit tuky, škroby, cukry a bílkoviny. A byl to právě on, kdo v roce 1811 zadal Chevreulovi úkol prozkoumat vzorky mýdla. Chevreul zjistil, že působením kyseliny chlorovodíkové na mýdlo rozpuštěné ve vodě se na hladině vytváří vrstva obsahující směs nerozpustných mastných kyselin. Dále pak zjistil, že zahříváním tuků v přítomnosti zásad zůstává glycerol v roztoku, zatímco mastné kyseliny se oddělují. V roce 1814 Chevreul prokázal, že sádlo obsahuje dva typy triglyceridů, z nichž jeden zůstává při pokojové teplotě v pevném stavu a který nazval „*stearin*“, a druhý, tekutý, který nazval „*elain*“, dnes nazývaný oleinem. Tyto názvy byly využity i pro názvosloví vyšších mastných kyselin: pro kyselinu stearovou (z řeckého *stéar* – lůj), systematickým názvem kyselinu oktadekanovou ( $\text{CH}_3[\text{CH}_2]_{16}\text{COOH}$ ) a kyselinu olejovou vycházející z řeckého *elaion* – olej, systematickým názvem (9Z)-oktadecenovou kyselinu ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ ).

Chevreulova sláva lipidového chemika vyvrcholila v roce 1823 zveřejněním jeho výzkumu živočišných tuků v souhrnném díle „*Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale*“ (Chemická studie olejů a tuků živočišného původu). Toto zásadní dílo, které posunulo



Obr. 2. Michel Eugène Chevreul<sup>18</sup>

znalosti v oblasti využití tuků a chemie lipidů, vyzdvihovaly v té době kapacity v oblasti chemie jako Jöns Jacob Berzelius či již zmiňovaný Justus von Liebig<sup>17</sup>. Chevreul odhalil podstatu saponifikační reakce a prokázal, že tuky a oleje jsou estery mastných kyselin a glycerolu, identifikoval další mastné kyseliny vyskytující se v živočišných tucích jako kyselinu olejovou, máselnou, kaprinovou a stearovou a cholesterol<sup>18</sup>.

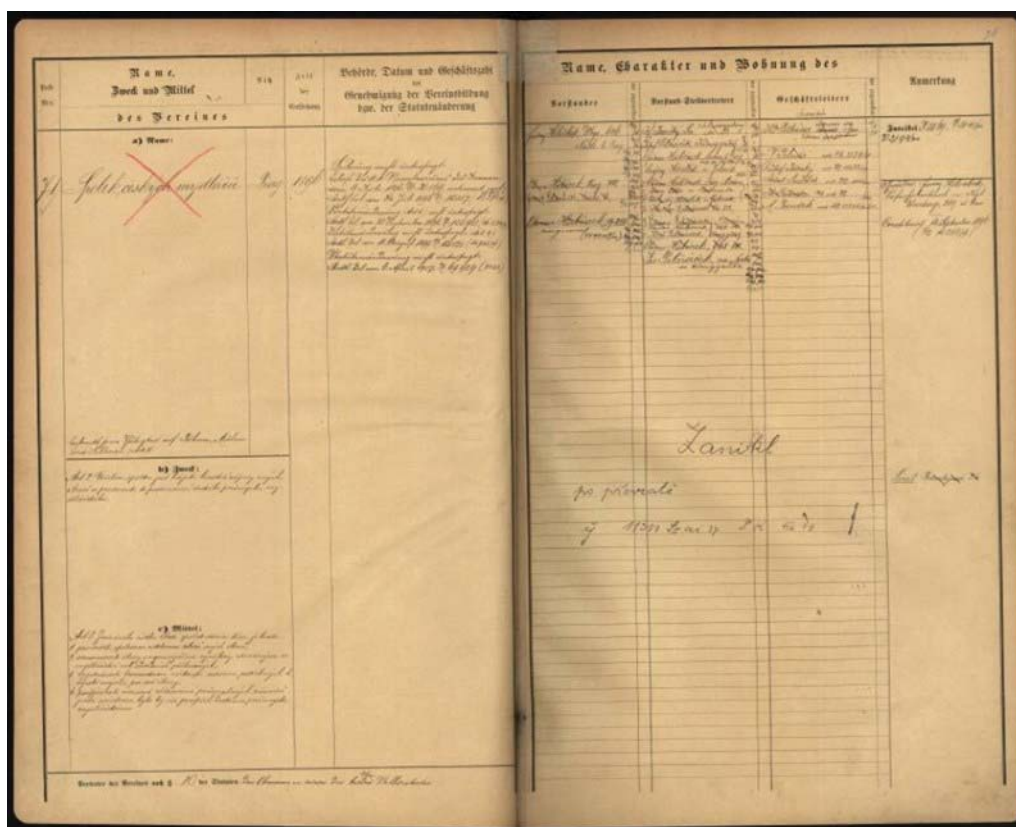
## 6. Výroba mýdla v Českých zemích

První mydlářský cech byl v Praze založen roku 1464, ale stejně jako ve většině Evropy byla na mýdlo uvalena vysoká daň. Důvodem bylo zařazení mýdla mezi luxusní výrobky a především však potřeba strategicky důležitých tuků nutných k jeho výrobě. Díky tomu se mýdlo, lokálně až do 20. století, vyrábělo nejčastěji v domácích podmínkách z odpadních tuků. Změnu přinesly až reformy Josefa II., který výnosem z června roku 1788 zrušil omezení pro výrobu svíček a mýdla. Konec 19. století v Zemích Koruny české se pak již plně nese v duchu rozvoje průmyslu a vznikání profesních sdružení. Dobrým důkazem těchto aktivit oblasti výroby mýdla je i založení Spolku českých mydlářů v roce 1896 (obr. 3).

### 6.1. Sága rodu Schichtů

V roce 1848 v obci Rynoltice (poblíž Liberce) sedlák, řezník a uzenář Georg Schicht (1820–1887) získává povolení k výrobě mýdla. Po skromných počátcích začala firma rychle růst. Zlomovým bodem bylo v roce 1878 předání podniku čtyřem synům, z nichž Johann (1855–1907) měl v dalších letech zásadní vliv na další směřování rodinného podniku (obr. 4). V roce 1882 byla firma přesunuta do Ústí nad Labem, které bylo výhodné jak z hlediska logistiky, tak odbytu. Kromě mydlárny byly vybudovány provozy na výrobu svíček, zpracování palmojádrového tuku, výrobu vodního skla a glycerinu. Současně byla vybudována železniční vlečka, strojirna, kovárna, vodárna na Labi, vlastní elektrárna sloužící i k veřejnému osvětlení a řada dalších pomocných provozů. Zatímco Johann Schicht se zaměřoval na rozvoj provozů v Ústí, jeho mladší bratr Heinrich (1857–1929) měl na starosti výrobu v Rynolticích.

V roce 1906 přeměňuje Johann Schicht rodinnou společnost na akciovou společnost Georg Schicht AG (obr. 5), v níž držela rodina Schichtů 80% podíl<sup>21</sup>. Johannův syn Heinrich (1880–1959) přebírá funkci prezidenta společnosti a jeho bratr Georg III Schicht (1884–1961) se stává obchodním ředitelem a viceprezidentem společnosti. Akciová společnost Georg Schicht AG se tak stala největším podnikem svého druhu v Evropě. V roce 1927 byla jedním ze čtyř zakladatelů společnosti Margarine Unie. Ta se následně v roce 1929 spojila s již zmíněnou firmou Lever Brothers za vzniku společnosti Unilever<sup>22</sup>. Georg III Schicht (přesídluje před druhou světovou válkou z Ústí do Londýna) se stává prvním celosvětovým prezidentem Unileveru<sup>23</sup>.

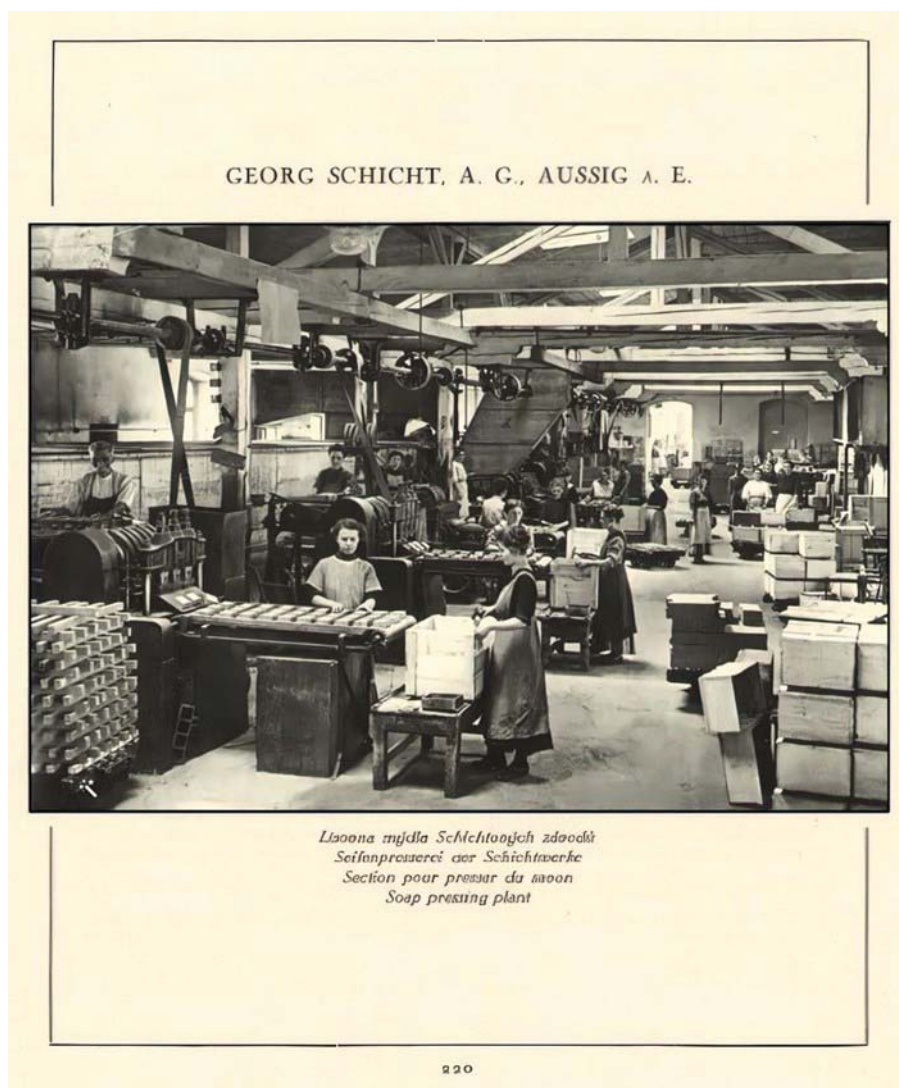
Obr. 3. Zápis ve Spolkovém katastru o založení Spolku českých mydlářů<sup>19</sup>

Velkoryse pečovala firma i o své zaměstnance. K dispozici jim byla závodní jídelna, knihovna, mateřská školka a moderní závodní ordinace se stálým lékařem. Provozy byly vybaveny šatnami, kuřárnami (ačkoliv Johann Schicht byl odpůrcem kouření) a umývárny se

Obr. 4. Johann Schicht<sup>20</sup>

sprchami. Bylo možné si ohřát přinesená jídla. Pro mladé zaměstnance se každoročně pořádaly chemicko-technické vzdělávací kurzy. Přednášky a školení absolvovali i obchodní cestující. V roce 1931 byly v ústecké čtvrti Střekov otevřeny lázně s bazénem (dnešní a bývalé Vrbenského lázně). Sloužily nejen zaměstnancům, ale i veřejnosti. Byly postaveny za 15 měsíců a svým technickým vybavením a službami se staly jedněmi z nejmodernějších v Evropě. Současně s lázněmi se v těsném sousedství stavěly obytné domy s byty pro zaměstnance. Domky byly vybaveny elektrickým osvětlením, koupelnou, sklepem a přístavkem pro chov domácího zvířectva. Ke každému patřila zahrádka o velikosti 200–250 m<sup>2</sup>. Domy zůstaly formálně majetkem firmy Schicht a byly přidělovány podle potřeby a zásluh. Snad jen proto, že byl Johann Schicht německého původu, se o něm ví daleko méně než o Baťovi. Přitom podle pamětníků neexistovaly rozdíly mezi Čechy a Němci v zařazení ani v platech. Zaměstnanci německé národnosti museli v případě potřeby prokázat znalosti i v českém jazyce<sup>22</sup>.

Firmou Schicht byla vytvořena řada známých produktů – např. kosmetika Elida, pokrmový tuk Ceres, margarín Vitello, zubní pasta Kalodont či prací prostředky Namu nebo Radion. Ikonickým produktem firmy bylo mýdlo s vyobrazením jelena ve skoku. Tento symbol si jako ochrannou známku nechal Johann Schicht zaregistro-

Obr. 5. Lisovna, Georg Schicht. A. G., Ústí nad Labem<sup>24</sup>

vat na konci 19. století. Výraz „mýdlo s jelenem“ pak postupně zlidověl a stal se synonymem pro neparfemované jádrové mýdlo ve tvaru kostky s běžovou barvou. Na historii této silné značky se v současnosti odkazuje i ústecká společnost Schicht se svými čistícími výrobky nesoucí značku JELEN<sup>®</sup>.

Důkazem, že reklama a propagace byla a je nedílnou součástí obchodní strategie a úspěchů společností podnikajících nejen v oblasti čistících prostředků, ale obecně v oblasti spotřebního zboží, není jenom výše zmiňovaná informace o „soap operách“, ale i fakt, že první projekce zvukového filmu v ČSR se konala v kině Alhambra 26. dubna 1929 v Ústí nad Labem – Střekově. Byl to právě Heinrich Schicht, který ji použil pro reklamní účely na produkci firmy Schicht<sup>25</sup>.

Po skončení druhé světové války byly Schichtovy závody znárodněny, následně se v roce 1951 přejmenovávají na Severočeské tukové závody, později pak na Setuzu<sup>26</sup>. Posledně zmiňovaná společnost je bohužel veřejnosti známá spíše kvůli její privatizaci, transformacím a přeprodům než kvůli mýdlu a chemii.

## 6.2. Současnost výroby mýdla v Čechách

Jaká je současnost výroby mýdla v Čechách? Výroba v Olomouci firmou Milo a v Nelahozevsi společností Unilever skončila. Ambiciózní projekt společnosti SOAP Sokolov s plánovanou kapacitou 120 milionů kusů stogramových mýdel ročně a investicí cca 100 milionů Kč se patrně nezdařil. Mýdlo jako takové se tam ani nevyrábělo

– produktem byly mýdlové kostky z dovezené mýdlové hmoty. Nyní existují pouze malé řemeslné mydlárny s prakticky ruční výrobou. Stejně jako v jiných oblastech došlo s rozvojem internetu a sociálních sítí k velkému rozšíření podomácku vyráběných produktů, ale i specializovaných školení zaměřených na výrobu mýdla. K dispozici je spousta postupů, rad a návodů, jak si doma či během workshopu v malé mydlárně připravit to zaručeně nejkvalitnější, nejjemnější, nejvoňavější mýdlo, a co víc, překvapivě často i „bez chemie“.

Těmito „bez-chemickými produkty“ jako bychom mazali více než třísetleté bádání a pokroky v oblasti průmyslové chemie a vrátili se pomyslně na počátek tohoto článku. Někam hluboko před industriální éru, kdy byla znalost založena na empirických zkušenostech řemeslníka a ústním předáváním, či se snad i přiblížili literární postavě strýce Františka (majitele továrny na pohromy) z Jirotkova Saturnina.

„*Chemie byla mu panenskou pevninou, roztočeným větrným zámekem, plným dveří, které se otvíraly tajemnými formulami. Neznal názvosloví, ignoroval valenční koncovky a žasl, když mu ve zkumavkách a křivulích šuměly prudké chemické reakce. Podoban středověkému alchymistovi pachtil se za přeludem, padal a zase se zvedal, jenže na konci jeho cesty nezářil kámen mudrců, nýbrž univerzální mýdlo. Mýdlo, vyrobené z bezcenného svinstva nepatrnými výrobními náklady, ale výsledek: skvost.*“<sup>27</sup>

Jaká je spotřeba mýdla v ČR v současnosti? Přesné informace jsou prakticky nedostupné, ale je možné se opírat například o čísla Cosmetics Europe, profesní asociace propojující evropský kosmetický průmysl a národní sdružení<sup>28</sup>.

Ještě markantnější je situace při pohledu na spotřebu kosmetických produktů na hlavu. V roce 2022 dosáhla tato hodnota v ČR pouze 85 EUR, a to i po zohlednění HDP na obyvatele. Tímto výsledkem se Česko ocitlo na předposledním místě v EU, hluboko pod průměrnou hodnotou 149 EUR (cit.<sup>29</sup>).

S odvoláním na úvodní myšlenku Justuse von Liebiga o mýdle a úrovni států doufejme, že současný stav výroby mýdla a kosmetiky v ČR je pouze jedním dílem dlouhé „*soap opery*“, ve které dochází k obrátům a nečekaným zápletkám poměrně často.

Článek vznikl na základě referátu Josefa Nováka „*Povídání o mýdle*“, předneseném 18. 10. 2022 na 110. Kosmetologickém semináři Kosmetologické společnosti ČR.

Autoři by touto cestou rádi poděkovali prof. Pavlu Drašarovi za cenné rady při přípravě textu a pomoc při hledání zdrojů.

## LITERATURA

- Liebig von J.: *Chemische Briefe*, 6. Aufl. – Elfter Brief. C. F. Winter'sche Verlagshandlung, Leipzig und Heidelberg 1878.
- Šmidrkal J.: *Tenzidy*. VŠCHT Praha, Praha 2020.
- Myers E.G., v knize: *Soap and Detergents. Inedible Meat by-Products. Advances in Meat Research Series*, (Pearson A. M., Dutton T. R., ed.), Vol. 8. Springer, Dordrecht 1992. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-7933-1\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-7933-1_7), staženo 15. 8. 2024.
- Gaius Plinius Secundus: *Kapitoly o přírodě (Historia Naturalis)*. Svoboda, Praha 1974.
- Levey M. J.: *J. Chem. Educ.* 31, 521 (1954).
- Gibbs F. W.: *Ann. Sci.* 4, 169 (1939).
- El Khadem H. S.: *J. Washington Acad. Sci.* 84, 168 (1996).
- The Natural French Soap Company: *Savon de Marseille – the History of Marseille Soap*; <https://naturalfrenchsoap.com/blogs/soapedia/savon-de-marseille-the-history-of-marseille-soap>, staženo 20. 3. 2023.
- Leblanc process* [online], Wikipedie. [https://en.wikipedia.org/wiki/Leblanc\\_process](https://en.wikipedia.org/wiki/Leblanc_process), staženo 15. 9. 2024.
- Sutton M.: *Chem. World* 30 October 2006; <https://www.chemistryworld.com/features/a-revolutionary-casualty/3004475.article>, staženo 20. 3. 2023.
- Newcastle upon Tyne (England). Town Council (1840). [https://books.google.de/books?id=4hZMAQAAMAAJ&pg=RA2-PA19&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.de/books?id=4hZMAQAAMAAJ&pg=RA2-PA19&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). pp. 2–, staženo 15. 9. 2024.
- Alkali Act 1863* [online], [https://en.wikipedia.org/wiki/Alkali\\_Act\\_1863](https://en.wikipedia.org/wiki/Alkali_Act_1863), staženo 15. 9. 2024.
- Solvay process* [online], [https://en.wikipedia.org/wiki/Solvay\\_process](https://en.wikipedia.org/wiki/Solvay_process), staženo 15. 9. 2024.
- International Solvay Institutes: <http://www.solvayinstitutes.be/html/solvayconference.html>, staženo 20. 3. 2023.
- Allen Robert C., v knize: *Speaking of Soap Operas*, str. 107–110 a 115–116. University of North Carolina Press, Chapel Hill, N. C. 1985.
- Colgate-Palmolive* [online], <https://en.wikipedia.org/wiki/Colgate-Palmolive>, staženo 15. 9. 2024.
- Chevreur M. E.: *Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale F. G. Levrault, Libraire-Éditeur rue de M. Le Prince no 31, Paris, and rues des Juifs, no 33, Strasbourg, 1823; Translation*®, 2009, by Albert J. Dijkstra, AOCS Press, ISBN 978-2-9533244-0-2 [online], <https://lipidlibrary.aocs.org/resource-material/a-chemical-study-of-oils-and-fats-of-animal-origin>, staženo 15. 9. 2024.
- Gary R. List: *Michel Eugène Chevreul* [online], AOCS Lipid Library. [https://lipidlibrary.aocs.org/resource-material/the-history-of-lipid-science-and-technology/michel-eug%C3%A8ne-chevreul-\(1786-1889\)](https://lipidlibrary.aocs.org/resource-material/the-history-of-lipid-science-and-technology/michel-eug%C3%A8ne-chevreul-(1786-1889)), staženo 15. 9. 2024.
- <https://katalog.ahmp.cz/pragapublica/>, staženo 19. 8. 2024.
- Archiv autorů.

21. *Schicht (Unternehmen)* [online], [https://de.wikipedia.org/wiki/Schicht\\_\(Unternehmen\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Schicht_(Unternehmen)), staženo 15. 9. 2024.
22. Píša R.: *Věstník* 4, (9), 2 (2011); <https://www.das-mcp.cz/muzeum/files/vestniky/ve1109.pdf>; staženo 13. 7. 2024.
23. Unilever 2024 *1900 – 1950 – Joining forces, Unilever comes to life* [online], <<https://www.unilever.com/our-company/our-history-and-archives/1900-1950/>>, staženo 15. 9. 2024.
24. Navrátil L., v knize: *L'Industrie Commerce Finances: Industrie-Exportation de la République Tchèque-slovaque*, Vol. 1, Komerční nakladatelství, Praha 1927.
25. *Sever* [online]. <https://sever.rozhlas.cz/prvni-zvukovy-film-byl-reklamni-vedlo-ho-kino-v-usti-nad-labem-6832192>, staženo 4. 8. 2020.
26. *Setuza* [online], <https://cs.wikipedia.org/wiki/Setuza>, staženo 13. 6. 2024.
27. Jirotko Z.: *Saturnin*, Šulc – Švarc, Praha 2012.
28. *Cosmetics Europe*: <https://cosmeticseurope.eu>, staženo 13. 6. 2024.
29. *Cosmetics Europe, CE Statistics 2022*, zveřejněno 14. června 2023, <https://cosmeticseurope.eu/library/12>; staženo 13. 7. 2024.

**J. Novák<sup>a</sup> and P. Štěpánek<sup>b</sup>** (<sup>a</sup> *Manufaktura s.r.o., Prague*, <sup>b</sup> *Department of Chemistry of Natural Compounds, University of Chemistry and Technology, Prague, Czech Republic*): **A Tale of Soap**

This article focuses on the origins and history of soap, particularly the development during the Industrial Revolution and the solutions that came with the development of industrial chemistry. The second part describes the origins of soap production in the Czech Lands, its intensive development at the end of the 19th century and the gradual decline until the present day.

Keywords: soap, detergents, chemical production, history of chemistry



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.

## EXPOZÍCIA DOJČIAT MIKROPLASTOM

CSILLA MIŠLANOVÁ a MARTINA VALACHOVIČOVÁ

Ústav výživy, Fakulta ošetrovateľstva a zdravotníckych odborných štúdií, Slovenská zdravotnícka univerzita, Limbová 14, 833 03 Bratislava 37, Slovenská republika  
csilla.mislanova@szu.sk

Došlo 4.12.2024, prijaté 17.12.2024.

Mikroplasty (MP) sa stávajú celosvetovým problémom kvôli potenciálnemu riziku pre ľudské zdravie. Potenciálne riziká MP môžu byť väčšie pre dojčatá, pretože nemajú dostatočne vyvinuté metabolizujúce enzýmy a majú menšiu schopnosť odstraňovať MP. Materské mlieko sa považuje za najkompletnejší a najvhodnejší zdroj výživy u dojčiat počas prvých 6 mesiacov života. Ak však dojčenie nie je možné, je potrebné použiť umelé mlieka určené na počiatočnú výživu dojčiat. Dojčatá môžu byť exponované vyššími hladinami MP prostredníctvom dojčenskej výživy alebo plastových výrobkov. Cieľom tejto štúdie je popísať možné zdroje expozície MP, ako je ľudská placenta, plastové dojčenské fľaše a hračky, ako aj prítomnosť uvoľnených MP vo výkaloch dojčiat, materskom mlieku a dojčenskej výžive.

Kľúčové slová: mikroplasty, dojčatá, materské mlieko, detská fľaša, dojčenská výživa, výkaly

### Obsah

1. Úvod
2. Charakteristika mikroplastov
3. Zdroje expozície mikroplastom
  - 3.1. Mikroplasty v dojčenských fľašiach
  - 3.2. Mikroplasty v ľudských výkaloch
  - 3.3. Mikroplasty v materskom mlieku a dojčenskej výžive
4. Analytické metódy na identifikáciu a kvantifikáciu mikroplastov
5. Závery

### 1. Úvod

Produkcija plastov v Európe dosiahla v roku 2014 58 miliónov ton. Odhaduje sa, že do roku 2040 sa do vodného systému dostane asi 250 miliónov metrických ton plastového odpadu a do pôdneho systému asi 460 miliónov metrických ton<sup>1</sup>. Používajú sa v mnohých aplikáciách týkajúcich sa balenia, automobilového priemyslu, akvakultúry, rybolovu, poľnohospodárstva, stavebníctva, nábytku, dopravy, výrobkov osobnej starostlivosti, textilu, odevov atď. kvôli ich nízkym výrobným nákladom, ľahkej preprave, nízkej hmotnosti a vysokej odolnosti<sup>2</sup>. Obrovská spotreba plastov a s tým spojené veľké množstvo plastového odpadu spôsobuje ich neustále uvoľňovanie do všetkých zložiek životného prostredia (voda, vzduch, pôda a biota) vrátane potravinového reťazca<sup>3,4</sup>, kde sa môžu rozkladať na menšie kúsky – mikroplasty (MP), ktoré sú považované

za kontaminanty<sup>5,6</sup>. MP pochádzajú z viacerých zdrojov, sú v interakcii s rôznymi zložkami životného prostredia a majú rôzne spôsoby dopravy a transformácie. Keďže ide o vysoko perzistentné látky, ktoré nie sú biologicky odbúrateľné, predstavujú potenciálne riziko pre ľudské zdravie. Treba však mať na pamäti, že MP slúžia aj ako nosiče ťažkých kovov, perzistentných organických polutantov, ktoré môžu mať toxické účinky na ľudský organizmus<sup>7</sup>. Znečistenie mikroplastmi je veľkým problémom, pretože sa môžu prenášať na veľké vzdialenosti a šíriť do pôdy, vzduchu a vody, ale nachádzajú sa aj v rôznych potravinách, ako je voda z vodovodu, balená voda, morské plody, med a soľ. Vzduch, vnútorný prach, kontaminované potraviny a voda sa považujú za hlavné zdroje expozície MP. V poslednej dobe sa čoraz viac objavujú informácie o iných možných zdrojoch expozície MP, ako sú dojčenské fľaše, zatiaľ čo štúdie o ľudskej stolici, placentách a plodoch poskytujú dôkazy o expozícii MP u dojčiat a detí. Výskum v tejto oblasti je však stále nedostatočný<sup>8,9</sup>. Hlavným cieľom tohto prehľadu je zhrnúť možnú expozíciu dojčiat MP, ako aj detekciu možných uvoľnených MP vo výkaloch dojčiat, materskom mlieku a dojčenskej výžive.

### 2. Charakteristika mikroplastov

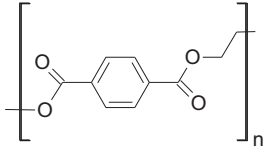
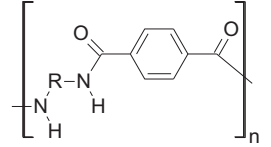
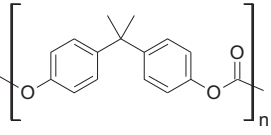
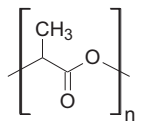
Veľké množstvo plastov, ako sú kozmetické výrobky, výrobky osobnej starostlivosti, odevy, plastové tašky a fľaše, sa do životného prostredia dostávajú rôznymi cestami (domácnosti, nemocnice, priemyselne a poľnohospodárske činnosti atď.). Tieto produkty postupne

v prostredí degradujú a menia sa na MP v závislosti od ich molekulovej hmotnosti, chemickej štruktúry, kryštalinity, aditív a funkčných skupín. Náročný proces degradácie je účinný v boji proti znečisteniu plastmi<sup>10,11</sup>. MP sú zvyčajne definované ako plastové častice a vlákna s rozmermi od 1 µm do 5 mm. Sú dostatočne malé na to, aby sa dali ľahko prehliadnuť, no môžu mať významné environmentálne a potenciálne zdravotné dôsledky.

MP sa delia na primárne a sekundárne<sup>12</sup>. Primárne MP v životnom prostredí vznikajú z plastových peliet alebo guľôčok. Používajú sa na komerčné účely a vznikajú priemyselnou činnosťou pri výrobe produktov osobnej

starostlivosti, napríklad šampónov, mydiel, zubných pást, gélov na vlasy atď.<sup>13–15</sup>. Sekundárne MP vznikajú ako dôsledok degradácie plastov (obaly, farby z rôznych druhov plastových výrobkov, vlákna z textílií a pod.) rôznymi fyzikálnymi, chemickými a biologickými procesmi vrátane erózie, korózie, fotooxidácie a biologickej premeny. Obavy o ľudské zdravie narastajú, keďže ľudia sú neustále exponovaní MP, najmä prostredníctvom živočíšneho alebo rastlinného potravinového reťazca, potravinových prísad, nápojov a plastových obalov na potraviny<sup>16–18</sup>. Štruktúry polymérov s najčastejším výskytom v MP sú uvedené v tab. I.

Tabuľka I  
Štruktúra polymérov s najčastejším výskytom v mikroplastoch

Polymér	Chemický vzorec	Chemická štruktúra	Polymér	Chemický vzorec	Chemická štruktúra
PE	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	PET	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	
PP	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	PPA	C <sub>42</sub> H <sub>63</sub> N <sub>7</sub> O <sub>7</sub>	
PVC	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{Cl} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	PC	C <sub>16</sub> O <sub>3</sub> H <sub>14</sub>	
PS	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	$\left[ \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	PU	C <sub>27</sub> H <sub>36</sub> N <sub>2</sub> O <sub>0</sub>	$\left[ \text{R}^1\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{NHR}^2-\text{NHC}(=\text{O})-\text{O} \right]_n$
PA	C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> NO	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ -\text{N}-\text{C}-\text{C}_6 \\    \quad   \\ \text{O} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	PLA	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	
PAN	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}\equiv\text{N} \end{array} \right]_n$	PMMA	C <sub>5</sub> O <sub>2</sub> H <sub>8</sub>	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$

PE – polyetylén, PP – polypropylén, PVC – poly(vinyl chlorid), PS – polystyrén, PA – polyamid, PAN – polyakrylonitril, PET – poly(etylén tereftalát), PPA – polyftalamid, PC – polykarbonát, PU – polyuretán, PLA – poly(laktidová kyselina), PMMA – poly(metyl metakrylát)

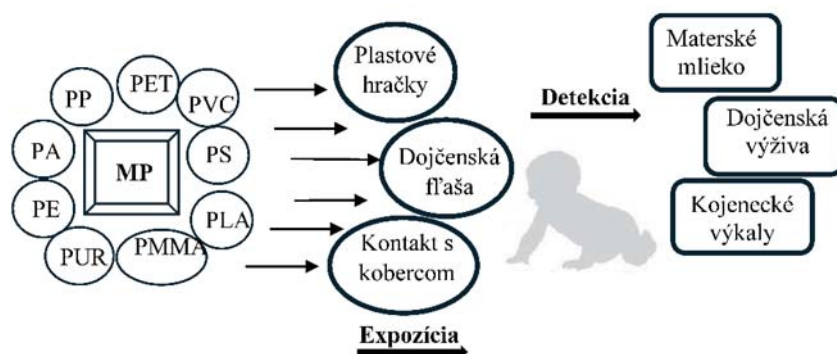
Vzhľadom na skutočnosť, že plasty a MP sú hydrofóbne a obsahujú kovalentné väzby a odolné funkčné skupiny, sú tieto látky ťažko degradovateľné. Degradácia plastov môže prebiehať mechanicky, chemicky, fyzikálne, ale aj biologicky<sup>19</sup>. Degradatívny proces (mikro)plastov môže byť ovplyvnený ich vnútornými vlastnosťami (zloženie, materiál, štruktúra atď.), ako aj vonkajšími podmienkami prostredia (pH, teplota, vlhkosť, katalyzátory, enzýmy atď.)<sup>20</sup>. Medzi najznámejšie metódy degradácie patria fotodegradácia<sup>21–23</sup>, tepelná degradácia<sup>24–26</sup>, chemická degradácia<sup>26,27</sup> a biodegradácie<sup>28–31</sup>. MP majú odlišnú polymérnu štruktúru zloženú z rôznych monomérov, ktoré sú zodpovedné za fyzikálne alebo chemické vlastnosti<sup>32</sup>. Najbežnejšie používaný je PE (polyetylén), ktorý sa už dlhú dobu bežne používa v baliacich fóliách, vreciach na odpad a potraviny a v mnohých domácich spotrebičoch. PET (poly(etylén tereftalát)) sa používa na výrobu fliaš na vodu a uzávery sa zvyčajne vyrábajú z PP (polypropylén). Nápojové kartóny sa zvyčajne vyrábajú z PE, kým PS (polystyrén) je vhodný na jednorazové balenie potravín s izolačnými vlastnosťami<sup>18</sup>. Podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2019/904 sú obaly na potraviny a nápoje vyrobené z PS od roku 2021 obmedzené<sup>33</sup>. Často sa používajú rôzne jednorazové alebo opakovane použiteľné obaly na potraviny, fľaše, téglíky, poháre, uzávery a iné druhy plastových obalov, ktoré sú zvyčajne vyrobené z PET, PP, PVC a PS.

Toxicita MP súvisí s ich veľkosťou. Platí, že čím je MP menší, tým je toxickejší pre životné prostredie<sup>11</sup>. Chemické prísady, ktoré sa pridávajú do plastov (zmäkčovadlá, UV stabilizátory, tepelné stabilizátory, tvrdidlá, biocídy, pigmenty atď.), sa v nestabilných podmienkach (napríklad silné UV žiarenie, poveternostné vplyvy a pod.) ľahko uvoľňujú do prostredia a poškodzujú rôzne organizmy v životnom prostredí. V dôsledku veľkého špecifického povrchu a malej veľkosti častíc MP dochádza k silnej adsorpcii látok z prostredia, ako sú polychlórované bifenylly (PCB), polycyklické aromatické uhľovodíky (PAH), perzistentné organické polutanty (POP), ťažké kovy, antibiotiká a pod.<sup>34</sup>. MP absorbované organizmami v prostredí sa môžu dostať do ľudského tela cez potravinový reťazec (napríklad cez ryby), ale aj cez konzervy a balenú vodu a často spôsobujú rôzne zápalové reakcie a vyvolávajú oxidačný stres<sup>35</sup>. Ľudské telo môže byť exponované MP rôznymi spôsobmi, ako je inhalácia, cez kožu alebo požitím kontaminovanej potravy s obsahom nebezpečných látok ako PAH alebo PCB<sup>5,15,36</sup>. Niektoré MP sa vylučujú z tela stolnicou, v ktorej bola pozorovaná prítomnosť PET. Zistilo sa, že jeho koncentrácia vo výkaloch dočiat je 10krát vyššia ako vo vzorkách dospelých<sup>37</sup>. Akumulácia MP bola zistená v moriach, oceánoch, povrchových a podzemných vodách, pôde, arktickom snehu a antarktických ľadoch a na plážach. Bežne sa šíria cez čistiare odpadových vôd, z ktorých sa môžu dostať do prírodných vôd, podzemných vôd alebo suchozemských ekosystémov<sup>38–41</sup>. Musí sa vziať do úvahy zraniteľnosť detí a tehotných žien voči týmto expozíciám<sup>42</sup>. Je veľmi dôležité sledovať skupinu (plod, novorodenci, doj-

čatá, deti), ktorá je veľmi citlivá na toxické látky, pretože nemá dostatočne vyvinuté metabolizujúce enzýmy, má nižšiu schopnosť odstraňovať toxíny a má vysoko citlivé cieľové orgány<sup>1</sup>. MP sa do tela detí najčastejšie dostávajú cez hračky, cumlíky, kontaminované potraviny, ale aj ležením po kobercoch a podlahách z plastu. Dojčenské fľaše sú dôležitým zdrojom MP (cit.<sup>43</sup>). Viac sa o tom bude diskutovať v časti 3.1.

### 3. Zdroje expozície mikroplastom

Výskum plastov sa väčšinou zameriava na hlavné zdroje expozície, konkrétne na vodu a potraviny, ako aj na prenos MP na človeka prostredníctvom potravinového reťazca, ale existuje len málo informácií o priamej expozícii MP prostredníctvom plastových výrobkov. Niektoré štúdie ukázali, že MP môžu byť prítomné v potravinách, ktoré sú buď zabalené v plastových obaloch, alebo ktoré prichádzajú do kontaktu s plastovými materiálmi vo výrobnom procese<sup>44</sup>. Organizácie ako Svetová zdravotnícka organizácia (WHO)<sup>45</sup> a Európska agentúra pre bezpečnosť potravín (EFSA)<sup>46</sup> tento problém monitorujú a vykonávajú vedecké štúdie na posúdenie možných rizík spojených s prítomnosťou MP v potravinách. Niektoré z nasledujúcich štúdií dokazujú expozíciu MP u dočiat a tehotných žien. Prehľadový článok autorov Kadar-Czapskej a spol.<sup>12</sup> charakterizuje cesty expozície, definuje zdroje znečistenia, poukazuje na najčastejšie sa vyskytujúce MP v potravinách a identifikuje druhy potravín kontaminovaných MP. Autori Ragusa a spol.<sup>47</sup> ako prví riešili otázku prítomnosti MP v ľudskej placente. Vyšetřili šesť placent, z ktorých štyri obsahovali 12 MP rôznych tvarov. Na základe týchto výsledkov vo svojom výskume autori Liu a spol.<sup>48</sup> testovali nielen placenty, ale aj výkaly dočiat, mekónium, materské mlieko a dojčenskú výživu. Autori Aghaei a spol.<sup>49</sup> skúmali účinok polystyrénových mikrogulôčok na plod a placentu u laboratórnych myší, pričom mikroplastické častice s veľkosťou 50 nm – 5 μm spôsobovali problémy s rastom. Autori Hu a spol.<sup>50</sup> tiež skúmali účinky vystavenia polystyrénovým MP u myší a zistili, že tieto častice môžu nepriaznivo ovplyvniť tehotenstvo narušením imunitného systému. Štúdie na zvieracích modeloch zistili, že nano častice polystyrénu sa môžu premiestňovať z pľúc matky cez placentu do plodu a jeho obličiek, srdca, pľúc, pečene a mozgu v neskorom tehotenstve<sup>51,52</sup>. Nedávno sa v štyroch ľudských placentách po prvýkrát našlo niekoľko mikroplastických fragmentov (veľkosť 5 až 10 μm), čo naznačuje, že tieto MP môžu prechádzať do placentárneho tkaniva<sup>53</sup>. Na základe týchto zistení narastajú obavy z potenciálnych rizík MP pre embryo počas tehotenstva. Dojčatá, deti a tehotné ženy neustále prichádzajú do kontaktu s plastmi. Existuje však potenciál pre translokáciu MP z matky na plod a ukladanie alebo akumuláciu MP v plode/embryu<sup>52</sup>. Najviac študovanými oblasťami výskytu MP sú predovšetkým vzduch, potraviny a nápoje<sup>42,43</sup>, hoci k expozícii u dočiat môže dôjsť aj cez placentu, materské mlieko a materiály, ktoré prichádzajú



Obr. 1. Zdroje expozície dojčiat mikroplastom

do styku s potravinami<sup>49,51</sup>. Tieto zdroje (obr. 1) expozície stále nie sú dobre preštudované.

Okrem ľudskej placenty<sup>54</sup> boli MP detekované aj v detskej stolici<sup>55</sup>, ale zdroje týchto plastov je pomerne ťažké odhaliť. K včasnej expozícii môže dôjsť cez placentu, počas dojčenia a podávania dojčenskej výživy, keď dieťa dýcha prach alebo olizuje a žuje plastové hračky a textilie, cez dojčenské fľaše atď.<sup>43</sup>. Autori Calatayud Arroyo a spol. v prehľadovom článku<sup>1</sup> zisťovali, či expozícia matiek kovom, perzistentným organickým látkam a potravinovým prísadám môže spôsobiť zmeny v mikrobiote dojčiat a viesť k modulácii prenosu mikroorganizmov z matky na dieťa počas pôrodu a dojčenia<sup>8</sup>. Identifikovanými materiálmi vo vzorkách ľudskej plodovej vody a placenty boli chlórovaný polyetylén a kalciumzinkové stabilizátory PVC. Placenta pôsobila ako čiastočná bariéra proti vstupu MP do plodovej vody a plodu.

Podobne, aj čajové vrecúška patria medzi zdroje expozície MP. Počas 5 minút lúhovania čajového vrecúška v horúcej vode (95 °C) sa uvoľnilo 11,6 bilióna MP na šálku čaju<sup>53</sup>. Vzhľadom na vysokú expozíciu a na zabránenie potenciálnym nepriaznivým účinkom je dôležité identifikovať hlavné zdroje MP na zníženie expozície<sup>54</sup>.

### 3.1. Mikroplasty v dojčenských fľašiach

Plastové výrobky na báze PP sa často používajú na prípravu a skladovanie potravín. Medzi takéto produkty patria aj obedové boxy a dojčenské fľaše<sup>56</sup>. Fľaše na dojčenie a plastové obaly na detskú výživu treba považovať za potenciálne zdroje MP. V štúdií<sup>57</sup> sa skúmala možná expozícia dojčiat MP prostredníctvom kontaminácie dojčenskej výživy v PP fľašiach na kŕmenie. 21dňový test sa uskutočnil na dojčatách vo veku do 12 mesiacov a v 48 regiónoch strednej Amazónie. Hodnotili sa účinky teploty vody, sterilizácie a opakovaného použitia počas 21 dní na úrovne uvoľňovania MP. Pri príprave dojčenskej výživy sú dojčenské fľaše vystavené teplotám do 100 °C v súlade s usmerneniami WHO. Na posúdenie vplyvu teploty na uvoľňovanie MP vystavili fľaše deionizovanej vode pri

teplotách 25, 40, 70 a 95 °C. Namerané hodnoty uvoľneného MP sa pohybovali v rozmedzí 14 600 – 4 550 000 častíc na obyvateľa a deň v závislosti od regiónu. Sterilizácia fliaš a vystavenie vysokej teplote vody počas sterilizácie významne zvýšila uvoľňovanie MP. V dôsledku prevalencie produktov PP používaných pri príprave dojčenskej výživy je expozícia dojčiat vyššia, ako sa očakávalo, a preto je potrebné posúdiť, či expozícia MP na tejto úrovni predstavuje riziko pre zdravie dojčiat<sup>57</sup>. MP nepravidelných tvarov uvoľnené z dojčenských fliaš môžu spôsobiť zvýšenú cytotoxicitu.

Štúdia Xu a spol.<sup>58</sup> analyzovala tepelno-oxidačné procesy starnutia plastov a aký druh zápalovej reakcie v ľudských črevných bunkách (Caco-2) môžu vyvolať tieto nepravidelné MP. Expozícia črevných buniek PP z dojčenskej fliaše vyvolala oxidačný stres, ktorý spôsobil zníženie hladín glutatiónu, zvýšenú peroxidáciu lipidov a uvoľnenie reaktívnych foriem kyslíka. Hladiny prozápalových cytokínov (IL-6 a TNF $\alpha$ ), ktoré sú markermi zápalového procesu, sa zvýšili a boli ešte intenzívnejšie pri dezinfekcii fliaš vriacou vodou alebo pri použití mikrovlnného ohrevu<sup>58</sup>. Čínska štúdia testovala uvoľňovanie MP počas procesu otvárania/zatvárania dojčenskej fliaše, pričom zistila, že 53–393 častíc ml<sup>-1</sup> sa uvoľnili počas 100 cyklov otvárania a zatvárania. Okrem toho zistili, že typ a značka fliaš, či už plastových alebo sklenených, ovplyvňuje uvoľňovanie mikročastíc, čo naznačuje, že vysokokvalitné plastové a sklenené fľaše uvoľňujú menej mikročastíc a sú vhodnejšie pre zdravie dojčiat a detí<sup>59</sup>. Bisfenol A (BPA) sa používa pri výrobe PC plastov, z ktorých sa vyrábajú mnohé produkty vrátane dojčenských fliaš. Napriek tomu, že väčšina výrobcov PC dojčenských fliaš deklaruje, že výrobky neobsahujú BPA, v niektorých výrobkoch boli zistené ich zvyškové množstvá<sup>60,61</sup>. V štúdií autori testovali 15 PC fliaš s jasným označením bez BPA /bezpečné/číre, ktoré podrobili záťažovému testu (čistenie a oplachovanie). Výsledky ukázali, že niektoré produkty obsahovali zvyškové množstvo BPA, ktoré neprekračovalo tolerateľný denný príjem (TDI)<sup>60</sup>. EFSA stanovila 50 g kg<sup>-1</sup> bw<sup>-1</sup> deň<sup>-1</sup> ako TDI

BPA na základe hladín nepozorovateľných nepriaznivých účinkov<sup>62</sup>. Množstvo BPA sa zvyšuje opakovaným používaním, čistením a sterilizáciou. Preto sa rodičom odporúča častejšie meniť dojčenské fľaše a používať čistiaci prostriedok, ktorý znižuje riziko úniku BPA. EÚ zakázala používanie PC plastov v dojčenských fľašiach. Keďže bezpečnosť dojčiat je nanajvýš dôležitá, rodičia by si mali byť vedomí všetkých zdravotných rizík spojených s používaním plastových dojčenských fliaš<sup>64</sup>.

### 3.2. Mikroplasty v ľudských výkaloch

Prítomnosť MP v organizme môže spôsobiť rast a reprodukciu iných organizmov a dosiahnuť vstup do potravinového reťazca. Väčšina organizmov používa proces vylučovania vo výkaloch na odstránenie nestráviteľných MP. Štúdia Perez-Guevaru a spol.<sup>54</sup> z roku 2018 bola prvou štúdiou, ktorá identifikovala MP v ľudských výkaloch. Častejšie sa začali objavovať štúdie, ktoré sa zaoberali rozsahom kontaminácie fekálií MP. Schwabl a spol.<sup>64</sup> zverejnili štúdiu, kde priradili MP deviatim rôznym typom polymérov v ľudských výkaloch. V súčasnosti je stále málo poznatkov o dôsledkoch správania MP vo výkaloch, ktoré sa dostávajú do prostredia. Je dôležité pochopiť a použiť vhodnú analytickú metódu na identifikáciu a kvantifikáciu MP (cit.<sup>64</sup>). Existuje len málo štúdií, ktoré sa zaoberajú toxickými účinkami MP na ľudí, hoci niektoré štúdie na laboratórnych zvieratách preukázali nepriaznivé zdravotné účinky<sup>65,66</sup>. Štúdia v USA stanovovala PET a PC, ktoré sa používajú najmä pri výrobe textilných vlákien, fliaš na vodu a mobilných telefónov, vo vzorkách mekónia a výkaloch dojčiat a dospelých. Bola použitá depolymerizačná metóda nasledovaná LC-MS/MS, pričom PET a PC dávky boli hodnotené z fekálnych koncentrácií. V stolici šiestich dojčiat bola zistená koncentrácia 36 000 ng g<sup>-1</sup> PET a 78 ng g<sup>-1</sup> PC. Vo vzorkách stolice od ôsmich dospelých jedincov boli v 10 vzorkách stolice zistené hodnoty 2600 ng g<sup>-1</sup> pre PET a 110 ng g<sup>-1</sup> pre PC. Koncentrácia PET u dospelých bola rádovo nižšia ako u dojčiat; výsledky pre PC boli približne rovnaké. Vysoké koncentrácie MP vo výkaloch dojčiat môžu pochádzať z niekoľkých zdrojov expozície, najmä z používania plastových výrobkov, ako sú dojčenské fľaše, riad, plastové hrýzátka, hračky a plastové nádoby na detskú výživu. Ročné dieťa si často vkladá plastové výrobky do úst, saje handričky a plazí sa po kobercoch. V štúdiu bol pozorovaný vyšší obsah MP vo výkaloch dojčiat ako u dospelých. Ako prvý dôvod uviedli možnosť prenosu MP z matky na dieťa. Dojčatá, ktoré konzumovali viac ako 600 ml materského mlieka, mali vyšší obsah MP ako tie, ktoré dostávali zmiešanú stravu. Dojčatá, ktoré dostávali doplnkovú stravu (viac ako 50 g denne), mali nižší obsah MP. Z toho vyplýva, že k expozícii MP pravdepodobne dochádza prostredníctvom materského mlieka. Ďalším zdrojom expozície môže byť používanie dojčenských fliaš. Kontaminácia MP bola zistená u dojčiat, ktoré päťkrát denne konzumovali dojčenskú výživu a dojčiat, ktoré dostávali materské mlieko z fľaše. Keďže obsah MP bol zistený v mlieku aj

v dojčenskej výžive, fľaša bola pravdepodobne potenciálnym zdrojom expozície<sup>48</sup>.

### 3.3. Mikroplasty v materskom mlieku a dojčenskej výžive

Podľa WHO by malo byť dieťa minimálne prvých 6 mesiacov života výlučne dojčené, pretože materské mlieko je jedinečné, komplexné, optimálne a svojim zložením nenahraditeľné. Predstavuje ideálnu formu výživy pre novorodenca a je prispôbená jeho potrebám. Ak však matka nemôže dojčiť, je potrebné nahradiť materské mlieko umelým mliekom určeným na počiatočnú výživu dojčiat. Hoci sa všetky náhrady materského mlieka líšia od materského mlieka, je potrebné, aby tieto produkty poskytovali porovnateľnú rýchlosť rastu a metabolizmu pozorovanú u výlučne dojčených detí. Pre dojčatá so špecifickými zdravotnými problémami musí byť umelá výživa upravená tak, aby sa odstránili alebo aspoň minimalizovali zdravotné problémy<sup>43</sup>. Analógy bisfenolu boli zistené v 62 vzorkách materského mlieka a 54 vzorkách dojčenskej výživy. Stredná koncentrácia (0,56 ng g<sup>-1</sup>) bisfenolu F (BPF) bola najvyššia v dojčenskej výžive, zatiaľ čo v materskom mlieku bola najvyššia stredná koncentrácia (0,01 ng ml<sup>-1</sup>) bisfenolu S (BPS)<sup>67</sup>. Štúdia Liu a spol.<sup>48</sup> skúmala prítomnosť MP u 18 párov matka – dieťa a hodnotili expozíciu v placentе, mekóniu, výkaloch dojčiat, materskom mlieku a dojčenskej výžive. Dojčenské výkaly, materské mlieko a vzorky dojčenskej výživy sa odoberali v prvých 6 mesiacoch veku. Viac ako 74 % MP malo rozmery 20–50 μm a dominovali v nich PA a PU. Pre ženy môžu byť zdrojom expozície čistiace prostriedky alebo zubná pasta, zatiaľ čo dojčenské fľaše a plastové hračky môžu byť zdrojom pre dojčatá. Celkové množstvo uvoľneného PA, PU a PE u dojčiat, ktoré dostávali aj doplnkovú stravu > 50 g denne, bolo signifikantne nižšie ako u dojčiat, ktoré ju neprijímali. Zaujímavým zistením bolo, že spôsob umývania plastových hračiek ovplyvnil množstvo PET a PVC vo výkaloch dojčiat. Okrem toho, vyššia spotreba materského mlieka u dojčiat a vyššia frekvencia používania dojčenských fliaš spôsobili nárast počtu uvoľnených MP častíc. Počet MP vo výkaloch bol tiež vyšší u dojčiat, ktoré cmúľali plastové hračky<sup>48</sup>. Táto štúdia bola prvou štúdiou, ktorá komplexne skúmala expozíciu MP u tehotných žien, plodov a dojčiat.

Dojčenská výživa je balená v plastových materiáloch, ktoré predstavujú dodatočné zdroje expozície MP prostredníctvom príjmu potravy alebo orálnych aktivít u dojčiat<sup>40,68</sup>. Pre štúdium bolo vybraných šesť najčastejšie používaných typov obalov na detskú výživu a cieľom bolo charakterizovať veľkosť, množstvo a zloženie mikroplastových častíc uvoľňovaných z týchto produktov. Uvoľnilo sa veľké množstvo mikro a submikrónových častíc, vločiek (< 300 μm) a fragmentov (1–50 μm), ktoré boli identifikované ako PE, PET a nylon-6 pomocou Ramanovej spektroskopie. Hmotnosť MP uvoľnených z vakov sa pohybovalo v rozmedzí 0,61–0,89 mg/deň vzhľadom na priemerný denný príjem materského mlieka u dojčiat<sup>68</sup>.

V poľskej štúdií<sup>43</sup> bolo testovaných 30 druhov dojčenskej výživy z lekární, drogérií a supermarketov. Produkty boli určené pre zdravé bábätká ako aj pre dojčatá s tráviacimi problémami. Vzorky dojčenskej výživy pochádzali od šiestich výrobcov. Kontaminácia dojčenskej výživy je nezlučiteľná s normami bezpečnosti potravín; výsledky tejto štúdie poukázali na prítomnosť MP v dojčenskej výžive. Denná spotreba u dojčiat od narodenia do 6. mesiaca veku bola  $49 \pm 32$  MP častíc na 100 g. Predpokladali, že jedným z dôvodov vysokej koncentrácie plastových častíc vo výrobkoch je typ obalu. Najbežnejšie identifikované polyméry boli PE (63 % obalov) a PP (37 % obalov). Zdroje, ktorým môžu byť dojčatá vystavené, sú materské mlieko, plastové dojčenské fľaše, plastové hračky a jednorazové vrecká na skladovanie materského mlieka. V konzervovanej dojčenskej výžive z čínskeho trhu sa zistilo, že MP obsahuje menej častíc o jeden rád ( $4 \pm 3$  MP na 100 g) ako produkty z poľského trhu ( $51 \pm 8$  MP na 100 g). V porovnaní s dobre preštudovanou oblasťou kontaminácie MP potravín nie je prítomnosť MP v obaloch detskej výživy stále dostatočne preskúmaná<sup>43</sup>.

Pre dojčatá, ktoré nemôžu byť dojčené, je hlavnou zložkou stravy sušené mlieko, ktoré je balené v špeciálnych obaloch. Kontaminácia MP v sušenom mlieku nepochádza len zo sušeného mlieka, ale môže sa uvoľňovať aj z dojčenskej fľaše a pri varení sušeného mlieka. Okrem toho sa MP bežne vyskytujú vo vzduchu a v oblečení. Len málo štúdií správne pochopilo potrebu zväziť všetky zdroje expozície, ktoré môžu kontaminovať sušené mlieko. Autori Zhang a spol.<sup>37</sup> vykonali komplexnú štúdiu o možných zdrojoch kontaminácie sušeného dojčenského mlieka, a to či už pochádza z obalu, sušeného mlieka, dojčenských fliaš alebo samotnej prípravy mlieka. Študovali 13 rôznych druhov sušeného mlieka s rôznymi druhmi balenia, metódami prípravy mlieka a zdrojmi mlieka. V mlieku v krabiciach bolo viac MP ako v konzervách. Predpokladali, že hlavným zdrojom bol vnútorný obal krabíc, ktorý pozostával z troch vrstiev: vonkajšej špeciálnej lepenky, strednej hliníkovej fólie a vnútornej vrstvy PE. Expozícia zo samotného sušeného mlieka bola nízka, expozícia z dojčenských fliaš bola 6,8krát vyššia a expozícia z prípravy mlieka bola 1,7krát vyššia<sup>37</sup>.

#### 4. Analytické metódy na identifikáciu a kvantifikáciu mikroplastov

Vzhľadom na to, že MP predstavujú veľké riziko, je potrebné uviesť do praxe vypracované všeobecné štandardné protokoly (v súčasnosti neexistujú), ktoré sa týkajú zberu, charakterizácie a kvantifikácie MP. Analytické techniky sa týkajú hlavne odberu a prípravy vzoriek a identifikácie a kvantifikácie MP. Pri príprave komplexných matric je hlavnou úlohou odstrániť alebo znížiť účinky matrice a manipulácia so vzorkou by sa mala čo najviac minimalizovať, aby bolo možné zabezpečiť analytickú presnosť<sup>69</sup>.

V oblasti výskumu je stále nedostatok štandardizovaných metód na extrakciu MP z rôznych vzoriek, najmä zo sedimentu<sup>70,71</sup>, piesku<sup>71,72</sup>, vzduchu<sup>73,74</sup> a biologických tkanív<sup>9,75</sup>. V tab. II sú uvedené príklady techník úpravy vzoriek a analytických metód detekcie MP vo vybraných vzorkách. Z analytických metód používaných na identifikáciu a detekciu MP je vizuálne pozorovanie pomocou mikroskopu najbežnejšie používanou metódou, pretože nevyžaduje zložité techniky a je založené na pozorovaní veľkosti častíc, tvaru, farby, povrchu a priehľadnosti. Zdá sa však, že ide o neúčinnú metódu identifikácie, pretože získané výsledky boli často nadhodnotené alebo podhodnotené<sup>9,75,81</sup>. Infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou (FTIR) je najpopulárnejšou a najrozšírenejšou technikou na identifikáciu typu plastu MP nachádzajúceho sa v prostredí. Je to veľmi presná, čistá a spoľahlivá metóda, pri ktorej možno plasty ľahko odlíšiť od prírodných materiálov vďaka špecifikám, ktoré sú uvedené v spektrách. „Single-clean“ plasty majú špecifickú štruktúru, a preto sa líšia od čistých plastov. Nemajú rovnaké infračervené spektrá, čo umožňuje jednoznačnú identifikáciu. FTIR je citlivejšia na polárne skupiny<sup>75,81</sup>.

Ramanova spektroskopia je spolu s infračervenou spektroskopiou najpoužívanejšou technikou na charakterizáciu MP. Dokáže analyzovať vzorky Ramanovej spektroskopie väčšie ako 1  $\mu\text{m}$  a umožňuje sledovanie veľmi malých rozdielov v molekulárnej konformácii polymérov, stupni kryštalinity vzhľadom na amorfné oblasti a stereoregularite polyméru. V porovnaní s FTIR spektroskopiou dosahuje Ramanova spektroskopia lepšiu odozvu nepolárnych symetrických väzieb<sup>9,43,82</sup>. Skenovacia elektrónová mikroskopia (SEM) je vhodná na identifikáciu MP a je schopná poskytnúť jasné obrazy životne dôležitých fyzikálnych vlastností častice. Existuje aj kombinácia SEM a röntgenovej disperznej spektroskopie (SEM-EDS), ktorá je vhodná na stanovenie obsahu aditív v plastoch<sup>83</sup>.

Pyrolýza-plynová chromatografia-hmotnostná spektrometria (Pyro-GC-MS) je metóda na charakterizáciu MP z hľadiska analýzy produktov degradácie daného polyméru. Spočíva v tepelnej degradácii až po pyrolýzu polyméru, ktorá prebieha v inertnej atmosfére a ruší chemické väzby polyméru. Vznikajú molekuly s nižšou molekulovou hmotnosťou, ktoré sa ďalej separujú plynovou chromatografiou a detegujú hmotnostnou spektrometriou. Vzorka sa fragmentuje pri teplote medzi 500 a 1400 °C v prítomnosti hélia a pri nízkom tlaku, čím sa vytvárajú fragmenty, ktoré sa zavádzajú do GC systému. Nevyžaduje sa žiadna predúprava vzorky a množstvo vzorky môže byť v rozmedzí 5–200  $\mu\text{g}$  (cit.<sup>82,84,85</sup>). Táto metodika umožňuje súčasne identifikovať typ polyméru a určiť chemické zloženie MP pomocou spektrálnych knižníc a databáz. Poskytuje kvantitatívne výsledky s vysokou presnosťou, citlivosťou a selektivitou. Vyžaduje sa malé množstvo vzorky a umožňuje analýzu celého MP, nielen jeho povrchu. Hlavnou nevýhodou tejto techniky je, že je deštruktívna a nie je možné získať žiadne informácie o farbe,

Tabuľka II

Techniky úpravy vzorky a analytické techniky pre detekciu MP vo vybraných ľudských matriciach

Typ vzorky	Úprava vzorky	Analýza	Lit.
Placenta, mekónium, výkaly, materské mlieko, dojčenská výživa	<ul style="list-style-type: none"> <li>– rozpustenie so 68% HNO<sub>3</sub></li> <li>– zohrievanie na 95 °C 3 h</li> <li>– filtrácia pod vákuom cez 13 µm membránu</li> <li>– rozpustenie v ultračistej vode</li> <li>– ultrazvuk v etanole</li> <li>– zakoncentrovanie etanolu</li> </ul>	laserový infračervený zobrazovací spektrometer (LDIR)	48,76
Materské mlieko	<ul style="list-style-type: none"> <li>– rozpúšťanie s 10% KOH 48 h pri 40 °C</li> <li>– filtrácia cez sklenenú membránu</li> <li>– sušenie na Petriho miske</li> </ul>	µRamanova spektroskopia	77
Placenta	<ul style="list-style-type: none"> <li>– rozpúšťanie s 10% KOH 72 h pri 50 °C</li> <li>– filtrácia cez 10 µm membránu</li> <li>– premývanie s vodou a etanolom</li> </ul>	laserový infračervený zobrazovací spektrometer (LDIR)	78
Placenta	<ul style="list-style-type: none"> <li>– rozpúšťanie s 10% KOH</li> <li>– inkubácia v uzavretom kontajneri 7 dní pri izbovej teplote</li> <li>– filtrácia</li> <li>– vysušenie a uschovanie na sklenenej Petriho miske</li> </ul>	Binokulárna mikroskopia µRamanova spektroskopia	47
Výkaly	<ul style="list-style-type: none"> <li>– rozpúšťanie 3 g vzorky s 25 ml 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 20 dní</li> <li>– sušenie mrazom</li> <li>– preosievanie častíc &gt; 5 mm</li> <li>– filtrácia</li> </ul>	µFTIR	79
Výkaly	<ul style="list-style-type: none"> <li>– rozpustenie s Fentonovým činidlom</li> <li>– filtrácia</li> <li>– inkubácia so 65% HNO<sub>3</sub> pri 50 °C 30 min</li> <li>– rozpustenie a filtrácia</li> </ul>	µRamanova spektroskopia	80

počte, veľkosti alebo tvare častíc. Nie je možné analyzovať viac MP súčasne, pretože čas analýzy sa predlžuje. Hoci je táto technika vysoko účinná pri identifikácii rôznych typov polymérov, nedokáže rozlíšiť medzi MP s nízkou a vysokou hustotou<sup>75</sup>.

Spektroskopia nukleárnej magnetickej rezonancie (NMR) sa používa na identifikáciu MP, pretože poskytuje informácie o molekulárnej štruktúre, kryštalinite a vetvení monomérov v kopolymérnych zlúčeninách<sup>9,81,85</sup>. Princíp NMR spočíva v tom, že na získanie chemickej informácie sa využívajú magnetické vlastnosti atómových jadier. NMR sa používa na výpočet molárných koncentrácií a sledovanie molekulárnych zmien vo vzorke, identifikáciu zlúčenín prítomných vo vzorkách a štúdium degradácie<sup>86</sup>.

Techniky elektrónovej mikroskopie (EM) v kombinácii so spektroskopickými umožňujú poskytnúť elementárne a štrukturálne informácie<sup>87</sup>.

## 5. Závěry

Výroba plastov bola pôvodne zameraná na zjednodušenie a zlepšenie ľudského života, či už v priemysle, poľnohospodárstve, alebo domácnosti. Táto výroba sa však v priebehu desaťročí vymkla spod kontroly a začali sme čeliť neželaným následkom v podobe mikroplastov. Tieto mikročastice, ktoré vznikajú degradáciou plastov, sa rozšírili do všetkých oblastí životného prostredia s negatívnym dopadom na ľudské zdravie a celkový ekosystém. Tento prehľad je založený na vedeckých štúdiách s cieľom objasniť rozsah prítomnosti mikroplastov v rôznych aspektoch života vrátane materského mlieka, dojčenských fliaš, hračiek a mliečnych náhrad. Na základe zistenia, že ku kontaktu s mikroplastmi dochádza už od útleho veku prostredníctvom dojčenských fliaš a hračiek, sa zistilo, že je veľmi potrebné prijať urgentné opatrenia. Je nevyhnutné preskúmať ich vplyv na zdravie detí a prijať opatrenia na minimalizáciu vystavenia týmto škodlivým časticiam. Tento závažný problém si vyžaduje okamžitú pozornosť a opatrenia na zabezpečenie zdravého a bezpečného vývoja detí. Ďalším výskumom a systematickým prístupom k sledovaniu zdrojov MP sa podarí vytvoriť základy pre

rozvoj efektívnych stratégií a minimalizovať negatívny vplyv týchto mikročastíc na životné prostredie a ľudské zdravie už od útleho veku.

## LITERATÚRA

- Calatayud Arroyo M., García Barrera T., Callejon Leblic B., Arias Borrego A., Collado M. C.: *Environ. Pollut.* 269, 115994 (2021).
- Rose P. K., Jain M., Kataria N., Sahoo P. K., Garg V. K., Yadav A.: *Groundwater Sustain. Develop.* 20, 100889 (2023).
- Su L., Xiong X., Zhang Y., Wu C., Xu X., Sun, C., Shi H.: *Sci. Total Environ.* 831, 154884 (2022).
- Woźniak-Budych M., Staszak K., Wieszczycka K., Bajek A., Staszak, M., Roszkowski S., Giamberini M., Tylkowski B.: *J. Hazard. Mat.* 465, 133000 (2024).
- Huang J., Chen H., Zheng Y., Yang Y., Zhang Y., Gao B.: *Chem. Engin. J.* 425, 131870 (2021).
- Jadhav E. B., Sankhla M.S., Bhat R. A., Bhagat D. S.: *Environ. Nanotech. Monit. Manag.* 16, 100608 (2021).
- Cverenkárová K., Valachovičová M., Mackul'ak T., Žemlička L., Bírošová L.: *Life* 11, 1349 (2021).
- Kannan K., Vimalkumar K. A.: *Front. Endocrinol.* 12, 724989 (2021).
- van Tran T., Jalil A. A., Nguyen T. M.; Nguyen T. T. T., Duyen W. D., Nguyen T. C. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 102, 104248 (2023).
- Lee J., Jeong S.: *J. Hazard. Mater.* 460, 132404 (2023).
- Sridhar A., Kannan D., Kapoor A., Prabhakar S.: *Chemosphere* 286, 131653 (2022).
- Kadac-Czapska K., Knez E., Grembecka M.: *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 64, 3502 (2022).
- Sewwandi M., Wijesekara H., Rajapaksha A. U., Soysa S., Vithanage M.: *Environ. Pollut.* 317, 120747 (2023).
- Hwang J., Choi D., Han S., Yong Jung S., Choi J., Hong J.: *Sci. Rep.* 10, 7391 (2020).
- Olewnik-Kruszkowska E., Nowaczyk J., Kadac K.: *Polymer Test.* 56, 299 (2016).
- Periyasamy A. P., Tehrani-Bagha A.: *Polymer Degr. Stab.* 199, 109901 (2022).
- Yang X., Ma J. B., Wong M. H., Owen R. B., Chow, K. L.: *Sci. Total Environ.* 825, 154025 (2022).
- Kadac-Czapska K., Knez E., Gierszewska M., Olewnik-Kruszkowska E., Grembecka M.: *Materials* 16, 674 (2023).
- Emisha L., Nishitha W., Kavitha S., Gopinath H., Dibyajyoti H., Anil K. P., Reeta R. S., Ashok P.: *Chemosphere* 346, 140661 (2024).
- Liu L., Xu M., Ye Y., Zhang B.: *Sci. Total Environ.* 806, 151312 (2022).
- Delre A. a 11 spoluautorov: *Marine Poll. Bul.* 187, 114544 (2023).
- Lin J., Yan D., Fu, J., Chen Y., Ou H.: *Water Res.* 186, 116360 (2020).
- Nabi I., Bacha A. U. R., Li K., Cheng H., Wang T., Liu Y., Ajmal S., Yang Y., Feng Y., Zhang L.: *iScience* 23, 101326 (2020).
- Arpia A. A., Chen W. H., Ubando A. T., Nagvi S. R., Culaba A. B.: *J. Hazard. Mater.* 418, 126381 (2021).
- Toapanta T. a 10 spoluautorov: *Sci. Total Environ.* 796, 148835 (2021).
- Du H., Xie Y., Wang J.: *J. Hazard. Mat.* 418, 126377 (2021).
- Liu F., Xu Y., Zhang B., Liu Y., Zhang H.: *Chemosphere* 238, 124611 (2020).
- Matjašič T., Simčič T., Medvešček N., Bajt O., Dreo T., Mori N.: *Sci. Total Environ.* 752, 141959 (2021).
- Peng B. Y., Chen Z., Chen J., Yu H., Zhou X., Cridle C. S., Wu W.-M., Zhang Y.: *Environ. Int.* 145, 106106 (2020).
- Zhang J., Gao D., Li Q., Zhao Y., Li L., Lin H., Bi Q., Zhao Y.: *Sci. Total Environ.* 704, 135931 (2020).
- Yuan J., Ma J., Sun Y., Zhou T., Zhao Y., Yu F.: *Sci. Total Environ.* 715, 136968 (2020).
- Muhib I., Uddin K., Rahman M., Malafaia G.: *Sci. Total Environ.* 865, 161274 (2023).
- European Union. Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the Reduction of the Impact of Certain Plastic Products on the Environment.: *Off. J. Eur. Union* 155, 1 (2019).
- Wang Q., Zhu X., Hou C., Wu Y., Teng J., Zhang C., Tan H., Shan E., Zhang W., Zhao J.: *Chemosphere* 263, 127962 (2021).
- Osman A. I. a 16 spoluautorov: *Environ. Chem. Lett.* 21, 1219 (2023).
- Kumari A., Upadhyay V., Kumar S.: *Chemosphere* 329, 138579 (2023).
- Zhang J., Wang L., Trasande L., Kannan K.: *Environ. Sci. Technol. Lett.* 8, 989 (2021).
- Zurier H. S.; Goddard J. M.: *Curr. Opinion Food Sci.* 37, 37 (2021).
- Yusuf A., Sodiq A., Giwa A., Eke J., Pikuda O., Eniola J. O., Ajiwokewu B., Sambudi N. S., Bilad M. R.: *Environ. Poll.* 292, 118421 (2020).
- Schymanski D., Goldbeck C., Humpf H.-U., Fürst P.: *Water Res.* 129, 154 (2018).
- Möller J. N., Löder M. G. J., Laforsch C.: *Environ. Sci. Technol.* 54, 2078 (2020).
- Sripada K. a 12 spoluautorov: *Environ. Health Perspect.* 130, 015001 (2022).
- Kadac-Czapska K., Jutrzenka Trzebiatowska P., Mazurkiewicz M., Kowalczyk P., Knez E., Behrendt M., Mahlik S., Zaleska-Medynska A., Grembecka M.: *Food Chem.* 440, 138246 (2024).
- Feng Y., Tu C., Li R., Wu D., Yang J., Xia Y., Peijnenburg W. J. G. M., Luo Y.: *Eco-Environ. Health* 2, 195 (2023).
- World Health Organization. *Healthy Diet*. 2020. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>, stiahnuté 19.9.2024.

46. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies. Scientific opinion on dietary reference values for water. *EFSA J.* 8, 1459 (2010).
47. Ragusa A. a 13 spoluautorov: *Environ. Int.* 146, 106274 (2021).
48. Liu S., Guo J., Liu X., Yang R., Wang H., Sun Y., Chen B., Dong R.: *Sci. Total Environ.* 854, 158699 (2023).
49. Aghaei Z., Sled J. G., Kingdom J. C., Baschat A. A., Helm P. A., Jobst K. J., Cahill L. S.: *Environ. Sci. Technol. Lett.* 9, 426 (2022).
50. Hu J., Qin X., Zhang J., Zhu Y., Zeng W., Lin Y., Liu X.: *Reprod. Toxicol.* 106, 42 (2021).
51. Wick P., Malek A., Manser P., Meili D., Maeder-Althaus X., Diener L., Diener P.-A., Zisch A., Krug H. F., von Mandach U.: *Environ. Health Perspect.* 118, 432 (2010).
52. Fournier S. B., D'Errico J. N., Adler D. S., Kollontzi S., Goedken M. J., Fabris L., Yurkow E. J., Stapleton P. A.: *Part. Fibre Toxicol.* 17, 55 (2020).
53. Hernandez L. M., Xu E. G., Larsson H. C. E., Tahara R., Maisuria V. B., Tufenkji N.: *Environ. Sci. Technol.* 53, 12300 (2019).
54. Halfar J., Čabanová K., Vávra K., Delongová P., Motyka O., Špaček R., Kukutschová J., Šimetka O., Hevianková S.: *Chemosphere* 343, 140301 (2023).
55. Pérez-Guevara F., Kutralam-Muniasamy G., Shruti V.: *Sci. Total Environ.* 778, 146395 (2021).
56. Li D., Yang L., Kavanagh R., Xiao L., Shi Y., Kehoe D. K., Gun'ko Y. K., Boland J. J., Wang J. J.: *J. Vis. Exp.* 173, e62545 (2021).
57. Li D., Shi Y., Yang L., Xiao L., Kehoe D. K., Gun'ko Y. K., Boland J. J., Wang J. J.: *Nature Food* 1, 746 (2020).
58. Xu Z. a 13 spoluautorov: *Environ. Int.* 181, 108296 (2023).
59. Song K., Ding R., Sun C., Yao L., Zhang W.: *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28, 59813 (2021).
60. Ali M., Jaghbir M., Salam M., Al-Kadamany G., Damsees R., Al-Rawashdeh N.: *Environ. Monit. Assess.* 191, 7 (2019).
61. Moghadama Z. A., Mirlohi M., Pourzamani H., Malekpour A., Amininoor Z., Reza Merasi M.: *Toxicol. Rep.* 2, 1273 (2015).
62. Siddique S., Zhang G., Coleman K., Kubwabo C.: *Curr. Res. Food Sci.* 4, 619 (2021).
63. Chen D., Kannan K., Tan H., Zheng Z., Feng Y. L., Wu Y., Widelka M.: *Environ. Sci. Technol.* 50, 5438 (2016).
64. Schwabl P., Köppel S., Königshofer P., Bucsics T., Trauner M., Reiberger T., Liebmann B.: *Ann. Int. Med.* 171, 453 (2019).
65. Deng Y., Zhang Y., Qiao R., Bonilla M. M., Yang X., Ren H., Lemos B.: *J. Hazard. Mater.* 357, 348 (2018).
66. Yang Y. F., Chen C. Y., Lu T. H., Liao C. M.: *J. Hazard. Mater.* 366, 703 (2019).
67. Zheng Q. a 11 spoluautorov: *Sci. Total Environ.* 910, 168509 (2024).
68. Liu L., Zhang X., Jia P., He S., Dai H., Deng S., Han J.: *Environ. Pollut.* 323, 121197 (2023).
69. Labuda J., Berek J., Gajdosechova Z., Jacob S., Johnston L., Krystek P., Mester Z., Josino Moreira J., Svitkova V., Wilkinson K. J.: *Pure Appl. Chem.* 95, 1159 (2023).
70. Talukdar A., Kundu P., Bhattacharya S., Dutta N.: *Sci. Total Environ.* 916, 170254 (2024).
71. Soursou V., Campo J., Picó Y.: *TrAC, Trends Anal. Chem.* 166, 117190 (2023).
72. Rathore C., Saha M., Gupta P., Kumar M., Naik A., de Boer J.: *Sci. Total Environ.* 888, 164157 (2023).
73. Luo X., Wang Z., Yang L., Tao G., Zhang Y.: *Sci. Total Environ.* 828, 154487 (2022).
74. Levermore J. M., Smith T. E. L., Kelly F. J., Wright S. L.: *Anal. Chem.* 92, 8732 (2020).
75. Dong H., Wang X., Niu X., Zeng J., Zhou Y., Suona Z., Yuan Y., Chen X.: *TrAC, Trends Anal. Chem.* 167, 117261 (2023).
76. Liu S., Liu X., Guo J., Yang R., Wang H., Sun Y., Chen B., Dong R.: *Environ. Sci. Technol.* 57, 17774 (2022).
77. Ragusa A. a 11 spoluautorov: *Polymers* 14, 2700 (2022).
78. Zhu L., Zhu J., Zuo R., Xu Q., Qian Y., An L.: *Sci. Total Environ.* 856, 159060 (2023).
79. Zhang N., Li Y. B., He H. R., Zhang J. F., Ma G. S.: *Sci. Total Environ.* 767, 144345 (2021).
80. Yan Z., Liu Y., Zhang T., Zhang F., Ren H., Zhang Y.: *Environ. Sci. Technol.* 56, 414 (2022).
81. Shruti V. C., Perez-Guevara F., Elizalde-Martínez I., Kutralam-Muniasamy G.: *Environ. Poll.* 268, 115811 (2021).
82. Martín-Gómez B., Elmore J. S., Valverde S., Ares A. M., Bernal J.: *Microchem J.* 197, 109903 (2024).
83. Chellasamy G., Ramasundaram S., Veerapandian M., Chandran M., Dhanasekaran B., Oh T. H., Govindaraju S., Yun K.: *TrAC, Trends Anal. Chem.* 169, 117390 (2023).
84. da Costa J. P., Avellan A., Mouneyrac C., Duarte A., Rocha-Santos T.: *TrAC, Trends Anal. Chem.* 58, 116898 (2023).
85. Jiménez-Skrzypek G., Ortega-Zamora O., González-Sálamo J., Hernández-Sánchez C., Hernández-Borges J.: *J. Chromatogr. Open* 1, 100001 (2021).
86. Kadac-Czapska K., Trzebiatowska P., Knez E., Zaleska-Medynska A., Grembecka M.: *Food Chem.* 418, 135985 (2023).
87. Labuda J., Berek J., Gajdosechova Z., Goenaga-Infante H., Johnston L. J., Mester Z., Shtykov S.: *Pure Appl. Chem.* 95, 133 (2023).

**Cs. Mišľanová and M. Valachovičová** (*Institute of Nutrition, Faculty of Nursing and Professional Health Studies, Slovak Medical University, Bratislava, Slovakia*):  
**Exposure of Infants to Microplastics**

Microplastics are becoming a global concern due to their potential risk to human health. The potential risks of microplastics may be greater for infants because they have less developed metabolizing enzymes, less ability to remove microplastics, and highly sensitive target organs. Breast milk is considered the most complete and appropriate source of nutrition for infants. However, if breastfeeding is not possible during this period, infant formula should be used for initial infant nutrition. There is a risk that the infant formula or plastic products used as containers of it could expose the infants to higher levels of microplastics. The aim of this study is to describe possible sources of exposure to microplastics, such as the human placenta, plastic baby bottles and toys, as well as the presence of released microplastics in infant feces, breast milk, and infant formula.

Keywords: microplastics, infants, breast milk, baby bottle, infant formula, feces



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.

## ZNIČENÍ CHEMICKÝCH ZBRANÍ DOKONČENO

*Autor věnuje tento odborný článek in memoriam jako vzpomínku na našeho předního odborníka v oblasti zbraní hromadného ničení a ochrany před nimi panu profesorovi Ing. Jiřímu Matouškovi, DrSc.*

**OTAKAR JIŘÍ MIKA**

*Policejní akademie České republiky v Praze, Fakulta bezpečnostního managementu, Lhotecká 559/7, Česká republika  
otakar\_mika@email.cz*

Došlo 12.9.24, přijato 18.12.24.

Odborný článek je věnován ničení chemických zbraní ve světě, které probíhalo jako náročný a složitý proces více než čtvrt století. Připomínají se moderní chemické zbraně za první světové války a následně přijetí tzv. Ženevského protokolu v roce 1925. Univerzální a důležitá Mezinárodní úmluva o zákazu chemických zbraní a o jejich zničení byla přijata v roce 1993 a vstoupila v mezinárodní platnost v dubnu 1997, čímž odstartovaly všechny závazně stanovené termíny. Jednalo se jednak o prohlášení o vlastnictví zásob chemických zbraní, ale hlavně šlo o lhůty pro ničení chemických zbraní. Dále je popsáno úplné ničení chemických zbraní ve světě se zaměřením na Ruskou federaci a USA, jako největší vlastníky chemických zbraní. Poslední část obsahuje oficiální oznámení o konci ničení chemických zbraní ve světě.

**Klíčová slova:** chemické zbraně, Úmluva o zákazu chemických zbraní a o jejich zničení, národní legislativa, zničení chemických zbraní, toxické chemické látky, prekurzory k výrobě chemických zbraní, Organizace pro zákaz chemických zbraní (OPCW), Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB)

### Obsah

1. Úvod k chemickým zbraním
2. Vznik chemických zbraní v období 1. světové války
3. Zákaz chemických zbraní Ženevským protokolem
4. Mezinárodní úmluva o zákazu chemických zbraní a o jejich zničení a její zavedení do národního právního systému České republiky
5. Úplné zničení chemických zbraní na světě
6. Oficiální vyhlášení o zničení chemických zbraní
7. Závěr

### 1. Úvod

Chemické zbraně patří do skupiny zbraní hromadného ničení. K této skupině patří také bakteriologické, biologické, toxinové, radiologické zbraně a nejničivější jaderné zbraně<sup>1</sup>.

Definice chemických zbraní je uvedena v celé řadě odborné literatury jak domácí, tak i zahraniční. Podle mezinárodní Úmluvy o zákazu chemických zbraní a o jejich zničení<sup>2</sup> z roku 1993 (český překlad pak čítá 122 stran) jsou chemické zbraně definovány takto:

Chemickými zbraněmi se rozumějí tyto položky, dohromady nebo odděleně:

- a) toxické chemické látky a jejich prekurzory s výjimkou těch, které jsou určeny pro účely nezakázané

touto Úmluvou, pokud druhy a množství odpovídají těmto účelům;

- b) munice a prostředky zvláště navržené k usmrcení nebo způsobení jiné újmy na zdraví toxickým působením toxických chemických látek uvedených v písmenu a), které by se uvolnily v důsledku použití této munice a prostředků;
- c) libovolné vybavení zvláště navržené k použití v přímé souvislosti s použitím munice a prostředků uvedených v písmenu b).

A toxické chemické látky potom:

Toxickou chemickou látkou se rozumí jakákoli chemická látka, která může svým chemickým působením na životní procesy zapříčinit smrt, dočasné ochromení nebo trvalou újmu na zdraví lidem nebo zvířatům. Toto zahrnuje veškeré chemické látky nezávisle na jejich původu či metodě výroby a nezávisle na tom, zda vznikají v objektech, v munici či jinde.

(Pro účely provádění této Úmluvy jsou toxické chemické látky, které podléhají kontrolním opatřením, uvedeny v seznamech v Příloze o chemických látkách.)

Obě uvedené definice jsou poměrně rozsáhlé, ale jedná se o oficiální znění z mezinárodní Úmluvy.

Není bez zajímavosti, že Státní úřad pro jadernou bezpečnost<sup>3</sup> má ve své kompetenci zákaz chemických zbraní, zákaz biologických zbraní, nešíření jaderných zbraní v podmínkách České republiky. Webové stránky pak obsahují k uvedeným bezpečnostním oblastem jak

mezinárodní, tak i národní legislativu, prováděcí vyhlášky a řadu odborných otázek k jednotlivým oblastem. Podrobněji to bude uvedeno v další části.

V tomto sdělení je stručně popsán vznik a začátek masivního používání chemických zbraní v bojích na válčištích hlavně 1. světové války. Krátká zmínka je také o tzv. Ženevském protokolu z roku 1925, který vznikl jako odezva na masivní používání chemických zbraní v 1. světové válce. Podrobněji je uvedena mezinárodní právní úprava z roku 1993 (tedy skoro 70 let po Ženevském protokolu) a její následné zavedení do právního řádu České republiky. Hlavní zaměření této publikace je na složitý a náročný bezpečnostně-chemický proces zničení chemických zbraní podle mezinárodní Úmluvy o zákazu chemických zbraní, která byla otevřena k podpisu dne 13. ledna 1993 (cit.<sup>2</sup>) a vešla v mezinárodní platnost v dubnu 1997.

Úplné zničení chemických zbraní na světě je pak popsáno z hlediska bezpečnostně-politického, a to včetně vyhlášení amerického prezidenta o dokončení zničení chemických zbraní Spojených států amerických, vyhlášení a potvrzení této významné bezpečnostní skutečnosti mezinárodní Organizací pro zákaz chemických zbraní a konečně oznámení o ukončení zničení chemických zbraní národním Státním úřadem pro jadernou bezpečnost v Praze.

## 2. Vznik a počátek masivního nasazení chemických zbraní

Viktor Ettel uvádí v knize *Chemická válka* z roku 1932 (cit.<sup>4</sup>), že používání chemických zbraní bylo v jistém smyslu známo již velmi dávno. Uvádí z minulosti příklad, kdy při obléhání hradu Karlštejn byly do hradu stříleny soudky plné fekálií, což mělo na bránící se osádce hradu pochopitelně zhoubné dopady (nevolnost, průjemy, vypadávání vlasů a zubů). Použití fekálií uvolňujících toxické plyny (např. sirovodík) proti posádce hradu tak znamenalo využití toxických látek jako metody vedení boje.

Tomáš Dosoudil v knize *Smrt ve žluté mlze*<sup>5</sup> uvádí výstižné zamyšlení, které ve zkratce objasňuje zrození novodobé chemické války takto: „*Už odedávna docházelo k pokusům o válečné využití chemických látek. Ale skutečná chemická válka se zrodila až při legendárním chlorovém útoku, který podnikli Němci za první světové války u belgické obce Yprés 22. dubna 1915. Od té doby je za otce moderního chemického válčení považován německý chemik světového významu, nositel Nobelovy ceny za chemii profesor Fritz Haber (1868–1934). Byl to univerzitní profesor demokratických zásad, vědec, technik i manažer, zároveň i patriot, neváhající pomoci své válčící vlasti kontroverzním bojovým prostředkem.*“

Jiří Matoušek<sup>6</sup> také uvádí jako novodobý vznik chemických zbraní vlnový chlorový útok Německa proti Francouzům dne 22. dubna 1915. Tehdy vypustily německé vojenské jednotky asi 180 tun plynného chloru na vojenskou pozici Francouzů. Důsledky vlnového chlorového útoku byly devastující. Z 15 000 francouzských vojáků zemřelo na následky otravy chlorem asi 5 000 vojáků

během několika prvních dnů. Tyto údaje nalezneme v mnohých novějších domácích odborných monografiích a publikacích<sup>7–11</sup>.

Bezesporu zajímavé statistické údaje přinesl v roce 1937 americký plukovník Augustyn M. Prentiss, když uvedl v knize *Chemicals in War*<sup>11</sup> celkový počet osob zasažených chemickými zbraněmi v období 1. světové války: 1 296 853 vojáků zasaženo, z toho 91 200 zemřelo. Zajímavá je také skutečnost, že asi 80–85 % smrtelných ztrát měl na svědomí jedovatý plyn fosgen, způsobující těžký edém (otok) plic s následným úmrtím<sup>6</sup>.

Za zmínku stojí i řada odborných příspěvků na národní vědecko-odborné konferenci *Historie a současnost chemických zbraní*, která proběhla v květnu 2015 jako důstojná připomínka vzniku chemických zbraní před 100 lety<sup>12–18</sup>. Na tomto dvoudenním rokování se sešli odborníci na chemické zbraně, bojové chemické látky a s tím související oblasti – od rychlé a spolehlivé detekce bojových chemických látek až po jejich úplnou a bezpečnou likvidaci.

Z konference byl vydán sborník s 33 odbornými příspěvky. Jedná se o pohled, názory a úvahy o chemických zbraních a s tím spojená různá témata od detekce, identifikace a monitorování přítomnosti nebezpečných toxických chemických látek přes ochranu před nimi až po léčení otrav a odmořování chemického zamoření.

O vzniku chemických zbraní v novodobé historii pojednávají např. zdroje<sup>6,19–22</sup>.

## 3. Zákaz chemických zbraní Ženevským protokolem

Na tvorbě tzv. Ženevského protokolu se začalo pracovat brzy po skončení 1. světové války, která může být směle označena jako „chemická“. Pokusů o formulaci dokumentu bylo sice více, ale pouze Ženevský protokol<sup>23</sup> dospěl až do závěrečného stadia. Tento významný mezinárodní protokol byl podepsán v roce 1925 a vstoupil v mezinárodní platnost v roce 1928. V podstatě zakazuje použití „chemických zbraní a bakteriologické metody vedení války“. Protokol však bohužel nezakazuje vývoj a výrobu chemických zbraní, takže celou oblast chemických zbraní řeší jen částečně. V podmínkách mezinárodního práva však již byl nahrazen, doplněn a je možno říci, že i překonán Úmluvou o zákazu chemických zbraní a o jejich zničení z roku 1993 (cit.<sup>2</sup>). Tato Úmluva byla připravována na poli OSN po dobu více jak 20 let pod vedením německého diplomata von Wagnera.

Ženevský protokol sehrál pozitivní roli na poli mezinárodního práva a bezpochyby omezil použití chemických zbraní. Bohužel byl v minulosti mnohokrát porušen (Itálie v roce 1932, Japonsko 1938, Irák 1980). Není bez zajímavosti, že bývalé Československo podepsalo uvedený mezinárodní dokument až v roce 1938, tedy v podstatě v předvečer vzniku 2. světové války. Přitom nejen Československo, ale i řada dalších zemí následně ratifikovalo Ženevský protokol s výhradou, že pokud bude země napadena chemickými zbraněmi, nebude se cítit Ženevským

protokolem vázána<sup>6</sup>. Uvedená výhrada byla dne 25. září 1990 odvolána prezidentem republiky Václavem Havlem.

Další nespornou skutečností je překvapivá ratifikace Ženevského protokolu Spojenými státy americkými až v roce 1975. Tedy v době po ukončení války ve Vietnamu (1961–1973), kde americké bojové jednotky používaly nebezpečné chemické látky k bojovým operacím. Tehdy použily americké vojenské jednotky tuny jedovatých látek za různým účelem, především se jednalo o defolianty (látky určené k odstranění listů stromů), ale i dráždivé bojové chemické látky (například CS). Negativní následky působení chemických zbraní jsou v dané oblasti patrné do současné doby.

Dalším příkladem nasazení chemických zbraní může být Irácko-Iránská válka (1980–1988), kde byly použity chemické zbraně jednostranně ze strany Iráku proti Íránu. V uvedené válce byly použity tabun, sarin, yperit, kyanovodík a další chemické zbraně. Toto bojové použití bylo mezinárodně potvrzeno několika experty OSN, kteří byli do oblasti konfliktu vysláni jako nezávislí pozorovatelé s cílem zjistit skutečnosti o používání chemických zbraní.

#### 4. Mezinárodní úmluva o zákazu chemických zbraní z roku 1993

Podobně jako Mezinárodní úmluva o bakteriologických (biologických) a toxických zbraních z roku 1972 (cit.<sup>24</sup>), i tato mezinárodní chemická úmluva komplexně zakazuje chemické zbraně a nařizuje i zničení zásob chemických zbraní, jakož i výrobních kapacit určených k jejich výrobě (nebo jejich nevratnou konverzi k jiným nezbraňovým účelům)<sup>2</sup>. Úmluva byla slavnostně podepsána ve dnech 13. a 14. ledna v roce 1993 a vstoupila v platnost dne 29. dubna 1997. Obsahuje dostatečně silné verifikační mechanismy a bezpečnostní procedury. Na její plnění dohlížela od roku 1997 a stále dohlíží mezinárodní Organizace pro zákaz chemických zbraní se sídlem v Haagu. Úmluva ukládala členským státům zničit deklarované chemické zbraně do deseti let od data vstupu Úmluvy v platnost v jejich národní legislativě. Mezinárodní Úmluva o zákazu chemických zbraní a o jejich zničení je považována za dosud nejdokonalejší mezinárodní smlouvu v oblasti zákazu a zničení jednoho druhu zbraní hromadného ničení.

Úmluva z roku 1997 řeší komplexně celou složitou problematiku nakládání s chemickými zbraněmi, a to nejen z hlediska zákazu jejich použití, ale i z hlediska všeobecného a úplného odzbrojení pod přísnou mezinárodní kontrolou. Státům, které k Úmluvě přistoupily a zároveň na svém území deklarovaly zásoby chemických látek (popř. prekurzorů) zařazených do některé ze tří kategorií Přílohy o chemických látkách, byla vyměřena konečná lhůta ke zničení těchto zásob chemických zbraní a souvisejících výrobních kapacit. Smluvní státy úmluvy celkem deklarovaly 8 680 079 kusů munice a kontejnerů obsahujících 71 195 tun toxických chemických látek, které se ke dni ukončení ničení chemických zbraní zvýšilo na 72 304

tuny. K navýšení došlo díky dodatečným deklaracím nových členských států Úmluvy.

V této souvislosti je nutné připomenout i významnou rezoluci OSN č. 1540 z 28. dubna 2004 (cit.<sup>26</sup>), která se především zabývá eliminací zneužití zbraní hromadného ničení teroristy. Vyzývá členské státy OSN, aby posílily stávající mechanismy platných mezinárodních smluv a dohod a aby přijaly účinné opatření pro omezení přístupu teroristických skupin ke zbraním hromadného ničení, případně jen jejich ničivých komponent. Hlavní důraz klade na vypracování a přijetí verifikačního protokolu Mezinárodní úmluvy o zákazu bakteriologických (biologických) a toxických zbraní, který citelně chybí jak v mezinárodním, tak mnohdy i v národním rámci.

Přijetí mezinárodních úmluv, konvencí a dohod je sice významný krok, ale nutně musí být následován tvorbou a zavedením stanovených a dohodnutých opatření do národní legislativy. Tato národní závazná legislativa (zákony a prováděcí vyhlášky) musí obsahovat jasnou konkretizaci přijatých mezinárodních závazků a ujednání. Pouze tímto způsobem je vytvořen předpoklad pro naplnění skutečného stavu v dané oblasti ve všech smluvních státech a následně pak na světové úrovni.

Stručně k národnímu zákonu a prováděcí vyhlášce. Národní zákon o zákazu chemických zbraní má celý název *Zákon o některých opatřeních souvisejících se zákazem chemických zbraní a o změně a doplnění zákona č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů, zákona č. 455/1991 Sb. o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 140/1961 Sb., trestní zákon, ve znění pozdějších předpisů.*

Nová prováděcí vyhláška k zákonu pak: *Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost ze dne 10. listopadu 2020 o provádění opatření souvisejících se zákazem chemických zbraní*<sup>28</sup>.

Mezinárodní úmluva o zákazu chemických zbraní je velmi univerzální a vstoupila v platnost dnem 29. dubna 1997, kdy se začaly uplatňovat všechny úkoly a opatření z úmluvy plynoucí. Úmluvu podepsalo již 193 států, mezi něž patří i Česká republika. Izrael úmluvu podepsal, ale neratifikoval. Úmluvu dosud nepodepsaly státy Egypt, Severní Korea, Jižní Sudán.

#### 5. Zničení chemických zbraní na světě

Zničení chemických zbraní byla velmi složitá operace, která zahrnovala řadu dílčích procedur.

Předně je nutno zdůraznit, že bojové chemické zbraně jsou velmi nebezpečné jedy, kterým se někdy říká superjedy, případně super toxické látky. Z toho zásadně plynou extrémně vysoké nároky na bezpečnost osob při vlastním zničení chemických zbraní.

Na stránkách OPCW je možné vyčíst počáteční stavy chemických zbraní<sup>24</sup> podle Úmluvy o zákazu chemických zbraní<sup>2</sup>, kde podle očekávání měly největší zásoby chemických zbraní jak Spojené státy americké (cca 27 770

tun), tak také Ruská federace jako nástupnický stát po Svazu sovětských socialistických republik (cca 40 000 tun). Dalšími zeměmi, které také ohlásily vlastnictví chemických zbraní a kapacit na jejich výroby k datu vstupu mezinárodní úmluvy v platnost – 27. dubna 1997 – byly (v abecedním pořadí) Albánie, Indie, Lybie, Republika Korea (Jižní Korea). V pozdějším období to byla také Sýrie, která přiznala vlastnictví pod značným mezinárodním tlakem. V posledně jmenovaných zemích byly zásoby chemických zbraní podstatně nižší než v USA a Ruské federaci, viz dále.

### Proces ničení chemických zbraní u vlastníků chemických zbraní

*Spojené státy americké:* Spojené státy zahájily stavbu svého prvního prototypu spalovny na atolu Johnston v 80. letech 20. století. V roce 1990 začaly ničit 1 842 tun chemických zbraní, které byly před mnoha lety tajně odeslány z předsunutého nasazení v Německu a na Okinawě. Když Úmluva o zákazu chemických zbraních v roce 1997 vstoupila v platnost, Spojené státy již provozovaly své první dvě spalovny na atolu Johnston a v Tooele v Utahu, což byla největší americká zásoba chemických zbraní s 12 353 tunami. Před vstupem v platnost v dubnu 1997 zničila americká armáda na těchto dvou místech 1 436 tun, asi 5 % celkových zásob chemických zbraní.

Americký Kongres zakázal přepravu chemické munice z bezpečnostních důvodů, což si vyžádalo plán k vybudování zařízení na ničení chemických zbraní v každém z devíti amerických míst, kde byly skladovány chemické zbraně.

Když americký Senát 25. dubna 1997 po dlouhé a sporné debatě Úmluvu o chemických zbraních konečně schválil, ratifikační články stanovily kromě mnoha dalších podmínek, že americký prezident klade nejvyšší prioritu na ochranu veřejného zdraví a životního prostředí a že armáda provádí vývoj nespalovacích technologií pro ničení chemických zbraní.

Spojené státy americké tak postupně postavily a provozovaly pět velkých spaloven: na atolu Johnston a v Tooele v Utahu, jak bylo uvedeno dříve; v Umatille, Oregon; v Anniston, Alabama; a v Pine Bluff, Arkansas. Spalovna Johnston Atoll ukončila provoz v roce 2000; další čtyři operace byly dokončeny v roce 2012. Kromě toho byla vybudována neutralizační zařízení v Newportu, Indiana, a Edgewood, Maryland. Zbývající dvě zásoby chemických zbraní v Pueblu v Coloradu a Blue Grass v Kentucky byly zničeny chemickou neutralizací, po níž následuje druhá fáze biodegradací a superkritickou vodní oxidací. Zařízení Pueblo zahájilo provoz v roce 2016 a Blue Grass začal krátce poté, v červnu 2019.

*Ruská federace:* Ruští představitelé v roce 1997, když ratifikovali Úmluvu o chemických zbraních, dali jasně najevo, že budou potřebovat technickou a finanční podporu od ostatních členů Úmluvy, aby splnili své smluvní termíny k úplné a ekologické likvidaci svých chemických zbraní. Během návštěvy USA v roce 1994 ruští vojensští představitelé a předseda obranného výboru Dumy odmítli

americkou nabídku asistenta ministra obrany pro programy jaderné, chemické a biologické obrany na výstavbu spalovny v Shchuchye. Ruští představitelé chtěli používat své vlastní technologie pro demilitarizaci.

První ruské zařízení na demilitarizaci chemických zbraní, postavené a financované jako prototyp zařízení Německem bylo určeno pro neutralizaci lewisitu (jediný sklad v Ruské federaci) v místě Kambarka, Udmurtská republika v Ruské federaci. Pro starší chemické látky na bázi arsenu bylo otevřeno zařízení pro ničení v roce 2002 v Gorném v Saratovské oblasti. Od té doby bylo Rusko schopno otevřít pět dalších zařízení, poslední v Kizneru v Udmurtské republice.

Většina těchto zařízení byla finančně podporována Globálním partnerstvím proti šíření zbraní a materiálů hromadného ničení, které založila Skupina osmi na svém summitu v Kananaskis v Kanadě v roce 2002. Od roku 2010 Spojené státy americké prostřednictvím *Programu kooperativního snižování hrozeb* vyčlenily od poloviny 90. let více než 1 miliardu dolarů na plánování a výstavbu neutralizačního zařízení v Shchuchye, zatímco Německo vyčlenilo 475 milionů dolarů (340 milionů eur) na výstavbu v Gorny, Kambarka a Pohep. Kanada a Spojené království přispěly částkou 82 milionů USD a 39 milionů USD, zatímco dalších nejméně 10 dalších zemí přispělo částkou 25 milionů USD.

Dne 27. září 2017 Organizace pro zákaz chemických zbraní oficiálně oznámila, že Ruská federace dokončila zničení svého arzenálu chemických zbraní.

Libye ohlásila své zásoby chemických zbraní a v lednu 2014 dokončila zničení svých chemických zbraní kategorie 1. S pomocí Organizace pro zákaz chemických zbraní a dalších členských států včetně Kanady a Dánska odstranila Libye ze svého území všechny zbývající chemické prekurzory, a následně je zničila v roce 2016.

Případ Sýrie, který vytvořil precedens pro zničení chemických zbraní mimo zemi původu, otevřel cestu pro přepravu zbývajících chemikálií z Libye ke zničení v Německu. Libye dokončila zničení všech svých chemických zbraní v lednu 2018.

Irák se připojil k Úmluvě o zákazu chemických zbraní na začátku roku 2009 a vyhlásil dva velké uzavřené bunkry „Al Muthana“ v oblasti Fallúdža s chemickými zbraněmi a souvisejícím vybavením a troskami z války v Perském zálivu v roce 1991. Protože alespoň jeden z těchto bunkrů byl ve válce zasažen leteckými bombami, neexistuje žádný konečný soupis zbraní, látek a materiálů, ani důkladné vyhodnocení možných rizik chemických zbraní nebo nevybuchlé munice v bunkrech. Bunkry obsahovaly toxické látky a prekurzory k výrobě chemických zbraní, stejně jako možnou poškozenou chemickou municí a zbytky po Programu OSN na ničení Iráckých chemických zbraní. Bunkry měly zabetonované vstupy a neexistovala evidence, co bylo uvnitř. Organizace pro zákaz chemických zbraní schválila zalití vnitřku bunkrů jako možnou metodu zničení chemických zbraní. Organizace pro zákaz chemických zbraní prohlásila zničení chemických zbraní v Iráku za dokončené v březnu 2018.

Albánie byla prvním vlastnickým státem, který zničil své zásoby. Do roku 2003 nepřiznala své vlastnictví 16 tun yperitu (stejně jako malá množství lewisitu a dalších chemikálií). Organizace pro zákaz chemických zbraní prohlásila zničení chemických zbraní Albánie za dokončené v červenci 2007.

Korejská republika odmítla uznat své zásoby při jakýchkoli veřejných prezentacích, včetně výročních projevů svého velvyslance v OPCW, a požádala o plnou důvěrnost (přísně důvěrné) podle přílohy Chemical Weapons Convention o důvěrnosti; Jižní Korea dokončila zničení svých chemických zbraní v roce 2008.

Indie deklarovala zásoby 1 044 tun sirného yperitu v roce 1997 po ratifikaci Úmluvy o zákazu chemických zbraní a o jejich zničení a v roce 2009 ohlásila zničení všech svých zásob chemických zbraní.

Dne 7. července 2023 byla v objektu na ničení chemických zbraní v Blue Grass Kentucky, USA zničena poslední deklarovaná chemická zbraň USA, která byla zároveň poslední chemickou zbraní deklarovanou smluvními státy Úmluvy. Tím bylo ukončeno ničení všech chemických zbraní deklarovaných smluvními státy Úmluvy.

Zničení posledních přiznaných chemických zbraní je považováno za významný krok na cestě k jejich úplné eliminaci. Bezpochyby to vytváří a podporuje mezinárodní důvěru mezi různými státy světa. Podařilo se tak dosáhnout jednoho z nejvýznamnějších cílů Úmluvy o zákazu chemických zbraní a o jejich zničení, a to po 26 letech její platnosti. Zůstává však nutnost zajistit, aby chemické zbraně nebyly znovu vyráběny a chemické látky byly používány výhradně pro účely, které Úmluva nezakazuje.

Úplné zničení chemických zbraní potvrdil inspekční tým Organizace pro zákaz chemických zbraní, která bude dále dohlížet na uzavření posledních zařízení určených k ničení chemických látek v USA. Díky Úmluvě bylo zničeno přes 72 000 tun chemických zbraní z muničních skladů nahlášených členskými státy.

Samostatnou kapitolou by mohlo být zničení chemických zbraní v Sýrii. Mezinárodní společenství vytvořilo značný tlak na tento stát, který nejprve přiznal vlastnictví chemických zbraní a následně souhlasil s jejich úplným zničením. Na zničení syrských chemických zbraní se podílela hlavně speciálně upravená americká loď Cape Ray. Na její palubě postupně úspěšně probíhalo ničení těchto zbraní.

## 6. Oficiální prohlášení, vyhlášení a oznámení

Na tomto místě jsou uvedena tři oficiální vyhlášení: amerického prezidenta, následuje prohlášení Organizace pro zákaz chemických zbraní a posledním třetím vyhlášením je oznámení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost v Praze o zničení chemických zbraní na světě. Zde je uvedena neoficiální překlad celých prohlášení.

### Prohlášení prezidenta J. R. Bidena o dokončení zničení zásob chemických zbraní Spojených států

Již více než 30 let Spojené státy neúnavně pracují na odstranění našich zásob chemických zbraní. Dnes s hrdostí oznamuji, že Spojené státy bezpečně zničily poslední munici z této zásoby – čímž jsme se o krok přiblížili světu bez hrůz chemických zbraní.

Následně vlády rozhodly, že tyto zbraně by již nikdy neměly být vyvíjeny nebo rozmístěny, a tento úspěch nejen že naplňuje náš dlouhodobý závazek v rámci Úmluvy o chemických zbraních, ale je to poprvé, kdy mezinárodní orgán ověřil zničení celé kategorie zbraní. Jsem vděčný tisícům Američanů, kteří věnovali svůj čas a talent této vznešené a náročné misi po více než tři desetiletí.

Dnes – když oznamujeme tento významný milník – musíme také obnovit náš závazek vytvořit budoucnost bez chemických zbraní. Nadále povzbuzuji zbývající státy, aby se připojily k Úmluvě o chemických zbraních, aby celosvětový zákaz chemických zbraní mohl dosáhnout svého plného potenciálu. Rusko a Sýrie by se měly vrátit k dodržování Úmluvy o chemických zbraních a přiznat své nedeklarované programy, které byly použity k páčání bezostyšných zvěrstev a útoků. Budeme i nadále stát při Organizaci pro zákaz chemických zbraní, abychom zabránili hromadění, výrobě a používání chemických zbraní po celém světě. A spolu s našimi partnery se nezastavíme, dokud nebudeme moci konečně a navždy zbavit svět této pohromy.

### Organizace pro zákaz chemických zbraní

*OPCW potvrzuje: Všechny deklarované zásoby chemických zbraní ověřené jako nevratně zničené<sup>23</sup>*

Nizozemsko – 7. července 2023 – Organizace pro zákaz chemických zbraní (OPCW) potvrzuje, že poslední chemická zbraň ze zásob deklarovaných všemi smluvními státy Úmluvy o chemických zbraních (CWC) byla ověřena jako zničená. Poslední chemická munice z deklarovaných zásob chemických zbraní Spojenými státy americkými byla nevratně zničena v souladu s CWC v pátek 7. července 2023 v pilotním závodu Blue Grass Chemical Agent Destruction v Kentucky.

„Blahopřeji všem smluvním státům a v tomto případě Spojeným státům americkým k tomuto významnému úspěchu mezinárodního společenství. Konec ničení všech deklarovaných zásob chemických zbraní je pro Organizaci důležitým milníkem. Je to zásadní krok k dosažení jejího poslání trvale odstranit všechny chemické zbraně,“ řekl generální ředitel OPCW, velvyslanec Fernando Arias.

„To představuje historický úspěch multilateralismu v oblasti odzbrojení a práci celé generace diplomatů a odborníků za posledních 26 let. Před námi však leží další výzvy, které vyžadují neustálou pozornost mezinárodního společenství. K Úmluvě se ještě musí připojit čtyři země. Opuštěné a staré chemické zbraně je stále potřeba získat a zničit,“ zdůraznil generální ředitel. „Nedávné použití a hrozby použití toxických chemikálií jako zbraní ukazují, že prevence opětovného výskytu zůstane prioritou Organizace. Rychlý vývoj ve vědě a technologii, nové ne-

bezpečně toxické chemikálie, důmyslnější zařízení a výrobní metody, lepší způsoby doručení a interakce mezi chemií, biologií a umělou inteligencí představují další faktory, které zvýší význam Úmluvy o chemických zbraních. Ty poskytují Organizaci nové a náročné úkoly a agendu pro naši společnou práci, která zůstane otevřená.“

„Centrum OPCW pro chemii a technologii, které zahájilo provoz v květnu 2023, je základním nástrojem pro posílení schopností Organizace čelit těmto hrozbám. Mezinárodní společenství se může spolehnout na nezávislost, odbornost a připravenost sekretariátu sehrát svou roli,“ uzavřel generální ředitel.

Od vstupu CWC v platnost v roce 1997 OPCW ověřila zničení 72 304 tun skladovaných chemických zbraní, které oznámily země po celém světě. OPCW bude i nadále sledovat uzavření posledních dvou destruktivních zařízení v Pueblo a Blue Grass v USA, včetně likvidace odpadu vzniklého v procesu ničení.

Jako prováděcí orgán Úmluvy o chemických zbraních OPCW se svými 193 členskými státy dohlíží na celosvětové úsilí o trvalé odstranění chemických zbraní. Od vstupu úmluvy v platnost v roce 1997 jde o nejúspěšnější smlouvu o odzbrojení, která odstraňuje celou třídu zbraní hromadného ničení.

Za své rozsáhlé úsilí o zničení chemických zbraní získala OPCW v roce 2013 Nobelovu cenu míru.

### Státní úřad pro jadernou bezpečnost

*Poslední chemická zbraň byla zničena* (18. července 2023)

Dne 7. července 2023 byla ve specializovaném zařízení pro ničení chemických látek v Blue Grass (Kentucky, USA) zničena poslední chemická zbraň nahlášená podle Úmluvy o zákazu chemických zbraní.

Zničení posledních chemických zbraní z muničních skladů je považováno za významný krok na cestě k jejich úplné eliminaci. Podařilo se tak dosáhnout jednoho z cílů Úmluvy o zákazu chemických zbraní, a to po 26 letech její platnosti. Zůstává však nutnost zajistit, aby chemické zbraně nebyly znovu vyráběny a chemické látky byly používány výhradně pro účely, které Úmluva nezakazuje.

Zničení potvrdil inspekční tým Organizace pro zákaz chemických zbraní (OPCW), která bude dále dohlížet na uzavření posledních zařízení určených k ničení chemických látek v USA.

Úmluva o zákazu chemických zbraní vešla v platnost v roce 1997, podepsalo ji 193 států, mezi něž patří i Česká republika. Díky Úmluvě bylo zničeno přes 72 000 tun chemických zbraní z muničních skladů nahlášených členskými státy.

## 7. Závěr

Vyhlášením amerického prezidenta J. R. Bidena o ukončení ničení chemických zbraní ve Spojených státech a následným potvrzením ze strany OPCW v polovině roku 2023 byla završena etapa ničení celé jedné skupiny zbraní hromadného ničení. Jen příprava mezinárodní Úmluvy

o zákazu chemických zbraní a o jejich zničení z roku 1993 byla obtížná, náročná a zdoluhavá. Mezinárodní dohodu se podařilo připravit na půdě OSN po více jak 20 letech práce různých diplomatů a právníků, bezpečnostních a chemických expertů.

Mezinárodní úmluva vstoupila v platnost po příslušném počtu ratifikací a to dne 29. dubna 1997. Od tohoto data pak běžely všechny lhůty od povinnosti oznámení zásob chemických zbraní a výrobních kapacit pro jejich výrobu až po skutečné zničení chemických zbraní. Termíny ničení chemických zbraní byly několikrát prodlouženy pro Ruskou federaci a Spojené státy americké, a tím ničení probíhalo více jak 26 let.

Problematika chemických zbraní však není bohužel zcela uzavřena. Je to dáno tím, že zneužití chemických zbraní k chemickému terorismu, k nepřátelskému použití je možné a reálné (podrobněji viz například<sup>1,6–10</sup>).

Přesto je třeba považovat zničení chemických zbraní v celosvětovém měřítku za velký mírový úspěch a výhru zdravého rozumu. S trochou nadsázky můžeme říci, že lidstvo se zbavilo zákeřných chemických zbraní a jejich použití patří jen minulosti. Věříme, že jejich ohromnou ničivou silu už nikdy v reálném světě nepoznáme.

## LITERATURA

1. Mika O. J., Polívka L., Říha M., Sabol J., Zeman M.: *Ochrana obyvatelstva před zbraněmi hromadného ničení v České republice*. Policejní akademie České republiky v Praze, Fakulta bezpečnostního managementu, Katedra krizového řízení, Praha 2021.
2. Mezinárodní úmluva o zákazu chemických zbraní 1993: *Úmluva o zákazu vývoje, výroby, hromadění zásob a použití chemických zbraní a o jejich zničení*, Paříž 13. ledna 1993.
3. Státní úřad pro jadernou bezpečnost Praha: <https://sujb.gov.cz/zakaz-chemickych-zbrani>, staženo 10. 9. 2024.
4. Ettel V.: *Chemická válka*. Pražská akciová tiskárna, Praha 1932.
5. Dosoudil T.: *Smrt ve žluté mlze, Fritz Haber „otec“ novodobé chemické války*, Nakladatelství Epoque, Praha 2017.
6. Matoušek J., Linhart P.: *CBRN: Chemické zbraně*. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství Ostrava, Ostrava 2005.
7. Mika O. J., Říha M.: *Ochrana obyvatelstva před následky použití zbraní hromadného ničení*. Námořní akademie České republiky, Praha 2011.
8. Mika O. J., Patočka J.: *Ochrana před chemickým terorismem*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice 2007.
9. Vičar D., Princ I., Mašek I., Mika O. J., v knize: *Jaderné, radiologické a chemické zbraně, radiální a chemické havárie*, 1. díl. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, Uherské Hradiště 2020.

10. Vičar D., Princ I., Mašek I., Mika O. J.: *Nuclear, radiological and chemical weapons, radiation and chemical accidents*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, Uherské Hradiště 2021.
11. Prentiss A. M.: *Chemicals in War. A Treatise on Chemical Warfare*. MacGraw-Hill, New York 1937.
12. Bajgar J., Fusek J.: *Vývoj zdravotnického výzkumu v oblasti účinků bojových otravných látek*, Sborník odborných příspěvků z vědecko-odborné konference „Historie a současnost chemických zbraní“, 27. – 28. května 2015, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, str. 39, Uherské Hradiště 2015.
13. Florus S.: *Vývoj ochranných prostředků dýchacích orgánů se zaměřením na období 1. světové války*, Sborník odborných příspěvků z vědecko-odborné konference „Historie a současnost chemických zbraní“, 27. – 28. května 2015, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, str. 84, Uherské Hradiště 2015.
14. Mareš M.: *Vývoj hrozby užití chemických zbraní proti území Českých zemí*, Sborník odborných příspěvků z vědecko-odborné konference „Historie a současnost chemických zbraní“, 27. – 28. května 2015, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, str. 136, Uherské Hradiště 2015.
15. Patočka J.: *Historie organofosforových inhibitorů acetylcholinesterázy*, Sborník odborných příspěvků z vědecko-odborné konference „Historie a současnost chemických zbraní“, 27. – 28. května 2015, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, str. 197, Uherské Hradiště 2015.
16. Pitschmann V.: *Proč před sto lety začala chemická válka*, Sborník odborných příspěvků z vědecko-odborné konference „Historie a současnost chemických zbraní“, 27. – 28. května 2015, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, str. 200, Uherské Hradiště 2015.
17. Princ I., Strohmandl J., Vičar D.: *Historické milníky použití zbraní hromadného ničení a terorismus*, Sborník odborných příspěvků z vědecko-odborné konference „Historie a současnost chemických zbraní“, 27. – 28. května 2015, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, str. 207, Uherské Hradiště 2015.
18. Zahradníček P.: *Kritická infrastruktura státu a její ochrana před vysoce toxickými látkami*, Sborník odborných příspěvků z vědecko-odborné konference „Historie a současnost chemických zbraní“, 27. – 28. května 2015, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, str. 262, Uherské Hradiště 2015.
19. Mika O.: *Historie a Vojenství* 42, 132 (1993).
20. Pitschmann V.: *Šamani, alchymisté, chemici a válečníci, období od prehistorie do roku 1914*. Naše vojsko, Praha 2010.
21. Pitschmann V.: *Chemici v laboratoři a na bitevním poli, období od roku 1914 do roku 1945*, Naše vojsko, Praha 2012.
22. Haber L. F.: *The Poisonous Cloud. Chemical Warfare in the First World War*. Clarendon Press, Oxford 1986.
23. Ženevský protokol 1925: *Mezinárodní úmluva o zákazu použití plynů a bakteriologických zbraní ve válce*, Ženeva 17. června 1925.
24. Mezinárodní úmluva o zákazu bakteriologických (biologických) a toxinových zbraní 1972: *Úmluva o zákazu vývoje, výroby a hromadění zásob bakteriologických (biologických) a toxinových zbraní a o jejich zničení*. Londýn, Moskva, Washington 10. dubna 1972.
25. *Organizace pro zákaz chemických zbraní v Haagu* (organizace OSN): <http://www.opcw.org/>, staženo 10. 9. 2024.
26. Rezoluce OSN č. 1540 z 28. dubna 2004 *o nešíření zbraní hromadného ničení*.
27. *Národní zákon č. 19/1997 Sb., o některých opatřeních souvisejících se zákazem chemických zbraní a o změně a doplnění zákona č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů, zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 140/1961 Sb., trestní zákon, ve znění pozdějších předpisů*.
28. *Prováděcí vyhláška č. 459/2020 Sb., Státního úřadu pro jadernou bezpečnost ze dne 10. listopadu 2020 o provádění opatření souvisejících se zákazem chemických zbraní*.

**O. J. Mika** (*Police Academy of the Czech Republic in Prague, Faculty of Security Management, Department of Crisis Management*): **Chemical Weapons Destruction Completed**

The expert article is devoted to the destruction of chemical weapons all over the world, which took place as a demanding and complex process for more than a quarter of a century. The modern chemical weapons used during the First World War and subsequently the adoption of the so-called Geneva Protocol in 1925 are reminded in the text. The universal and important International Convention on the Prohibition of Chemical Weapons was adopted in 1993 and entered into international force in April 1997, which started off the countdown of all the coming deadlines. The issue was, for one thing, the declaration of the ownership of chemical weapons stockpiles, for another (and mainly) the deadlines for the destruction of them. Furthermore, the complete destruction of chemical weapons in the world is described, being focused on the Russian Federation and the USA, as the largest owners of chemical weapons. The last part contains official announcements about the completion of destruction of chemical weapons in the world.

**Keywords:** chemical weapons, Convention on the Prohibition of Chemical Weapons and on their Destruction, national legislation, destruction of chemical weapons, toxic chemicals, precursors for the production of chemical weapons, Organization for the Prohibition of Chemical Weapons (OPCW), State Office for Nuclear Safety of the Czech Republic (SÚJB)



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.

## (RE)MINERALIZACE PITNÉ VODY KALCITEM NEBO DOLOMITEM

VÁCLAV JANDA<sup>a</sup>, MAREK ŠVÁB<sup>b</sup> a ONDRA ŠRÁČEK<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Ústav technologie vody a prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6,

<sup>b</sup> Dekonta, Dřetovice 109, 273 42 Stehelčevy, <sup>c</sup> Katedra geologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc, Česká republika  
vaclav.janda@vscht.cz

Došlo 14.11.24, přijato 16.12.24.

V příspěvku je ukázáno, že zvyšování koncentrací vápníku a hořčíku v málo mineralizované nebo demineralizované pitné vodě filtrací přes vrstvu dolomitu nebo vápence nemůže přinést žádoucí výsledek. Rozpustnost obou minerálů ve vodě je malá a rozpustnost oxidu uhličitého ve vodě, který by mohl zvýšit rozpustnost karbonátových minerálů, je vzhledem k jeho nízkému parciálnímu tlaku v atmosféře z tohoto pohledu také malá. Mineralizace vody tímto způsobem nevede k hodnotám vhodným pro kvalitní pitnou vodu.

Klíčová slova: demineralizovaná pitná voda, remineralizace

### 1. Úvod

Membránové procesy používané pro odstraňování nejruznějších kontaminantů, např. dusičnanů, pesticidů, léčiv, hormonů, sladidel nebo endokrinních disruptorů, jsou většinou neselektivní a vedle cílových látek odstraňují při úpravě vlastností vody na vodu pitnou i látky ve vodě pro pitné účely žádoucí, především pak vápník a hořčík. Často bývá doporučováno, aby se málo mineralizované nebo demineralizované vody používané pro pitné účely (re)mineralizovaly pomocí průtočné kolony/kolonky, která je naplněna dolomitem nebo vápencem. Voda protékající přes náplň ji má rozpouštět a sama se tak obohacovat vápníkem a hořčíkem v případě dolomitu, popřípadě jen vápníkem v případě vápence. Nechceme zde rozebírat, zda je nutné, aby pitná voda obsahovala vápník a hořčík. To je věc hygienických orgánů, potažmo MZ ČR. Postoj zdravotnických orgánů v ČR je však podle Vyhl. 252/2004 Sb. v platném znění jasný<sup>1</sup>: vápník a hořčík jsou v pitné vodě cenné ionty, pitná voda nemá být „čistá H<sub>2</sub>O“ a očekává se, že určité koncentrace vápníku a hořčíku bude obsahovat. Naše otázka zní, jakých koncentrací vápníku a hořčíku při tomto způsobu úpravy skutečně můžeme dosáhnout.

### 2. Výpočet rovnovážných koncentrací vápníku a hořčíku

Vypočítat exaktně koncentraci rozpuštěného vápníku a hořčíku po průchodu vody mineralizační kolonou je velmi obtížné, neznáme-li dosti přesně průtočnou rychlost vody, zrnění dolomitu (resp. jeho specifický povrch), koncentraci rozpuštěného oxidu uhličitého atd. Jsme však

schopni vypočítat koncentraci vápníku a hořčíku ve vodě, je-li v rovnováze s tuhou fází za statických podmínek. Dvěma krajními případy jsou pak (1) systém, kdy je voda v rovnováze s tuhou fází a je oddělena od plynné fáze (resp. není v kontaktu se vzdušným oxidem uhličitým), a (2) systém, kdy je tuhá a kapalná fáze v rovnováze ještě se vzduchem, a tedy s oxidem uhličitým za daného parciálního tlaku. Tyto rovnovážné koncentrace jsou samozřejmě koncentracemi maximálními i pro průtočný systém za daných podmínek a vyšší koncentrace než rovnovážné nelze ani z průtočného systému získat.

V rovnovážném ani jiném systému nelze vypočítat koncentraci vápníku a hořčíku ve vodě pouze ze součinu rozpustnosti kalcitu nebo dolomitu. Uhlíčanové ionty uvolněné do roztoku rozpuštěním kalcitu nebo dolomitu hydrolyzují na hydrogenuhličitany a kyselinu uhličitou (byť na tuto minimálně), které tak ze systému odčerpávají určitou část uhlíčanů. Pro zachování konstantní hodnoty součinu rozpustnosti je pak zapotřebí, aby se rozpustil další podíl kalcitu nebo dolomitu. Koncentrace vápníku a hořčíku bude tedy vždy vyšší, než by odpovídalo prostému výpočtu ze součinu rozpustnosti. Důležité také je, jestli se jedná o izolovanou soustavu, tedy bez přístupu vzdušného oxidu uhličitého nebo jestli bude soustava kalcit, dolomit a voda v rovnováze se vzdušným CO<sub>2</sub>. Vyšší koncentrace se bude ve vodě nacházet samozřejmě při kontaktu se vzdušným oxidem uhličitým, protože jeho dotace do vody bude zvyšovat rozpustnost kalcitu nebo dolomitu. Rovnovážné koncentrace vápníku a hořčíku ve vodě budou pak záviset i na koncentraci oxidu uhličitého ve vzduchu. Tuto lze však zpravidla považovat za konstantní 0,03 až 0,04 obj.%.

Pro řešení rovnováhy sestavíme soustavu rovnic. Pro jednoduchost jsou rovnice aplikovány na kalcit, avšak obdobně tomu bude i u dolomitu a místo aktivit jsou v rovnicích níže uvedeny koncentrace:

Disociační konstanta  $K_1$  kyseliny uhličitě do 1. stupně:

$$K_1 = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} \quad (1)$$

Disociační konstanta  $K_2$  kyseliny uhličitě do 2. stupně:

$$K_2 = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})}{c(\text{HCO}_3^-)} \quad (2)$$

Součin rozpustnosti kalcitu:

$$K_S = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) \quad (3)$$

Iontový produkt vody:

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = c(\text{H}^+) \cdot c(\text{OH}^-) \quad (4)$$

Rovnice elektroneutality:

$$c(\text{H}^+) + 2c(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{OH}^-) + c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-}) \quad (5)$$

Rovnost analytických koncentrací vápníku a uhlíku, jde-li o izolovanou soustavu (veškerý rozpuštěný uhlík a vápník pocházejí pouze z kalcitu):

$$c(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{H}_2\text{CO}_3) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{CO}_3^{2-}) \quad (6)$$

Koncentrace kyseliny uhličitě odpovídající rozpustnosti  $\text{CO}_2$  ve vodě při dané teplotě a tlaku, jedná-li se o otevřený systém:

$$c(\text{H}_2\text{CO}_3) = S \quad (7)$$

Symbol  $c(A)$  označuje molární koncentraci v  $\text{mol l}^{-1}$  látky  $A$ ;  $S$  rozpustnost  $\text{CO}_2$  ve vodě v  $\text{mol l}^{-1}$ , resp. odpovídající koncentrace  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

Máme tedy řešit soustavu šesti rovnic pro šest neznámých aktivit (koncentrací). Konstanty v prvních čtyřech rovnicích, popřípadě rozpustnost  $\text{CO}_2$  ve vodě jsou známy. Řešení této soustavy rovnic však není úplně triviální, neboť soustava není lineární. Proto se v minulosti zaváděly různé zjednodušující předpoklady nebo zjednodušené me-

tody řešení. Například v renomované učebnici hydrochemie z osmdesátých let<sup>2</sup> se soustava řeší v určitých krocích stochastickou metodou „pokusu a omylů“. V dnešní době lze použít například matematické programy typu MAPLE nebo specializované hydrochemické (hydrogeologické) programy. V naší práci jsme použili program PHREEQC s databází phreeqc.dat, který je zadarmo ke stažení z webovských stránek US Geological Survey<sup>3</sup> a zpoplatněný The Geochemist's Workbench<sup>4</sup>. Pro úplnost je třeba uvést, že databáze termodynamických dat uvedených programů obsahují také data o dalších rozpustných formách vápníku a hořčíku, přičemž všechny jsou do výsledné rozpustnosti daného kovu započteny. Jedná se například o formy  $\text{CaOH}^+$ ,  $\text{CaHCO}_3^+$ ,  $\text{CaCO}_3(\text{aq})$  a další. Výpočty s uvažováním těchto dalších forem jsou již numericky velmi složité a proveditelné pouze použitím uvedených programů. Případná argumentace podhodnocením rozpustnosti zanedbáním dalších rozpustných forem obou kovů zde proto neobstojí. V diskutovaném případě uvedené další rozpustné formy kovů přispívají k celkové rozpustnosti jen málo, maximálně do  $1 \text{ mg l}^{-1}$  (cit.<sup>4</sup>). Úvahy o hydrochemických rovnováhách v takovýchto systémech jsou uvedeny i v knize<sup>5</sup>.

Výsledky výpočtů jsou shrnuty v tabulkách I až V. Z tabulek je zřejmé, že zatímco pro kalcit vycházejí výsledky rozpuštěného vápníku v celkem dobré shodě pro oba výpočetní programy, pro dolomit se výsledky liší. Vzhledem k relativní jednoduchosti našeho systému (uvážíme-li, jak silné výpočetní nástroje byly použity), nelze primárně hledat chybu či příčinu rozdílu ve výpočetní proceduře. Hledali jsme proto odlišnosti ve vstupních údajích. V tabulce VI jsou uvedeny součiny rozpustnosti kalcitu, aragonitu (další krystalická modifikace uhličitánu vápenatého) a dolomitu podle různých literárních zdrojů.

Z tabulky VI je patrné, že zatímco u hodnot součinů rozpustnosti kalcitu a aragonitu panuje mezi různými autory celkem shoda, u dolomitu se liší tabelované hodnoty součinů rozpustnosti o více než jeden řád. Nikoli však rozpustností. V nejjednodušším přiblížení je rozpustnost Ca a Mg závislá na čtvrté odmocnině ze součinu rozpustnosti, čímž se rozdíly významně stírají. V této práci použité výpočetní programy<sup>2,3</sup> používají rozdílné součiny rozpustnosti zhruba o řád. Proč vůbec jsou v datech o součinu rozpustnosti dolomitu takové rozdíly? Pravděpodobně proto, že dolomit je ze své podstaty heterogennější materiál, než například kalcit nebo aragonit. Teoreticky se sice jedná o směsný krystal uhličitánu vápenatého a hořečnatého v ekvimolárním poměru  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , avšak může

Tabulka I

Rovnovážné koncentrace vápníku a hořčíku a hodnoty pH při  $10^\circ\text{C}$  (cit.<sup>3</sup>)

	Voda bez přístupu vzduchu				pH	Voda s přístupem vzduchu				
	Ca [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mmol kg <sup>-1</sup> ]	[mg kg <sup>-1</sup> ]		Ca [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mmol kg <sup>-1</sup> ]	[mg kg <sup>-1</sup> ]	pH
Kalcit	0,111	4,441			10,31	0,629	25,193			8,30
Dolomit	0,080	3,204	0,080	1,943	10,41	0,420	16,829	0,420	10,206	8,42

Tabulka II

Rovnovážné koncentrace vápníku a hořčíku a hodnoty pH při 10 °C – počítáno podle cit.<sup>4</sup>

	Voda bez přístupu vzduchu				pH	Voda s přístupem vzduchu				pH
	Ca [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]		Ca [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]	
Kalcit	0,094	3,780			10,26	0,556	22,300			8,25
Dolomit	0,042	1,686	0,042	1,023	10,23	0,254	10,180	0,254	6,173	8,21

Tabulka III

Rovnovážné koncentrace vápníku a hořčíku a hodnoty pH při 25 °C (cit.<sup>3</sup>)

	Voda bez přístupu vzduchu				pH	Voda s přístupem vzduchu				pH
	Ca [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]		Ca [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]	
Kalcit	0,123	4,918			9,91	0,493	19,774			8,28
Dolomit	0,078	3,113	0,078	1,888	9,98	0,300	12,003	0,300	7,279	8,36

Tabulka IV

Rovnovážné koncentrace vápníku a hořčíku a hodnoty pH při 25 °C (cit.<sup>4</sup>)

	Voda bez přístupu vzduchu				pH	Voda s přístupem vzduchu				pH
	Ca [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]		Ca [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]	
Kalcit	0,110	4,300			9,88	0,440	17,700			8,25
Dolomit	0,046	1,851	0,046	1,122	9,81	0,194	7,782	0,194	4,719	8,19

Tabulka V

Rovnovážné koncentrace vápníku a hodnoty pH při 25 °C (cit.<sup>2</sup>)

	Voda bez přístupu vzduchu			pH	Voda s přístupem vzduchu			pH
	Ca [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]			Ca [mmol kg <sup>-1</sup> ]	Mg [mg kg <sup>-1</sup> ]		
Kalcit	0,127	5,090		9,95	0,500	20,039		8,30

obsahovat méně definované nebo špatně odlišitelné příměsi, které mohou hodnotu součinu rozpustnosti ovlivnit.

Z tabulek I až V vyplývá, že v rovnovážném stavu nelze dosáhnout požadavku na mezní hodnotu koncentrace vápníku a hořčíku v pitné vodě podle vyhlášky 252/2004 Sb. v platném znění<sup>1</sup>, tedy alespoň 30 mg l<sup>-1</sup> Ca a 10 mg l<sup>-1</sup> Mg. Podle vysvětlivky 14 k příloze 1 tohoto právního předpisu „Mezní hodnota představuje minimum a platí pro vody, u kterých je při úpravě uměle snižován obsah vápníku nebo hořčíku. Pro všechny vody platí, že tam, kde je to možné, by se mělo usilovat o dosažení doporučené hodnoty.“ Doporučené hodnoty leží v rozmezí 40–80 mg l<sup>-1</sup> Ca a 20–30 mg l<sup>-1</sup> Mg. I v nejpříznivějším případě, tedy při teplotě 10 °C, přístupu vzduchu a použití nejvyšší hodnoty součinu rozpustnosti dolomitu  $K_s=10\exp(-17,09)$  ve výpočetním programu PHREEQC (cit.<sup>3</sup>) se dosáhne rovnovážné koncentrace vápníku pouze 16,8 mg l<sup>-1</sup> Ca a těsně přes minimální hodnotu koncentrace hořčíku, tedy 10,2 mg l<sup>-1</sup> Mg. Tato rovnovážná hodnota je však i za ideálních podmínek

v průtočném kolonovém uspořádání obtížně dosažitelná. Navíc kolonové uspořádání neumožňuje přivést do rovnováhy náplň kolony se vzduchem, neboť stěny kolony vzduch nepropouští. Naše výpočty a reálná situace s provozováním kolony spíše korespondují se situací, kdy na vstupu do kolony může být voda nasycena vzdušným CO<sub>2</sub> a po jeho spotřebování lze dosáhnout koncentrací uvedených v tabulkách I–V ve sloupcích nazvaných „voda bez přístupu vzduchu“ + navýšení o koncentraci vápníku a hořčíku jednorázově rozpuštěných počáteční koncentrací oxidu uhličitého. Rozpustnost CO<sub>2</sub> ve vodě při běžném parciálním tlaku ve vzduchu je však pouze 0,7 mg l<sup>-1</sup> při 10 °C a 0,44 mg l<sup>-1</sup> při 25 °C (cit.<sup>7</sup>). Pokud by všechny tento CO<sub>2</sub> zreagoval s dolomitem/vápencem, přispěje tato reakce k obohacení rovnovážných koncentrací vápníku, ev. hořčíku, uvedených v tabulkách I až V ve sloupcích „voda bez přístupu vzduchu“ několika desetiny mg l<sup>-1</sup>, což je nevýznamné.

Tabulka VI

Součiny rozpustnosti kalcitu, aragonitu a dolomitu při 25 °C

Kalcit	Aragonit	Dolomit	Lit.
10exp(-8,34)	10exp(-8,22)		2
10exp(-8,48)	–	10exp(-17,09)	3
10exp(-8,63)	10exp(-8,46)	10exp(-18,16)	4
10exp(-8,47)	10exp(-8,34)	–	6
10exp(-8,06)	–	–	7
10exp(-8,34)	10exp(-8,15)	10exp(-17,15)	8

Uvedeným výsledkům odpovídají i provozní zkušenosti s filtrací přes karbonátové minerály málo mineralizovaných vod po reverzní osmóze nebo nanofiltraci. Prostou filtrací jakékoli běžné vody nelze dosáhnout rozumného navýšení koncentrace vápníku a hořčíku přes drčený kalcit nebo dolomit, což je často slibováno.

Za pozornost také stojí, že všechny hodnoty rovnovážného pH v tabulkách I–V pro případy izolované soustavy za nepřístupu vzduchu jsou nad akceptovatelnou mezí pro pitnou vodu. Čím blíže budeme rovnováze a čím bude v případech „bez přístupu vzduchu“ ve vodě vyšší koncentrace vápníku, event. hořčíku, tím bude i vyšší hodnota pH. Dokonce vyšší, než je hodnota horní hranice rozmezí 6,5–9,5 podle vyhlášky 252/2004 Sb. v platném znění pro pitnou vodu.

### 3. Závěr

Lze konstatovat, že navýšení koncentrací vápníku a hořčíku v pitné vodě deficitní na tyto ionty prostou filtrací přes lože dolomitu nebo vápence nevede ke kýženému cíli. Jak to udělat jinak?

Nabízí se několik způsobů, ale ty jsou buď technicky náročnější nebo mohou vzbuzovat dojem příliš „chemického“ nebo „nezeleného“ postupu:

1. Najít přírodní materiál, který je rozpustnější než dolomit. Pokud takovýto materiál existuje (ale odborné veřejnosti o něm není nic známo), pak se těžko i v komerční sféře může nazývat „dolomitickým materiálem“.
2. Před vstupem do kolony zvýšit ve vodě koncentraci oxidu uhličitého a tím po jeho reakci s dolomitem zvýšit i koncentraci rozpuštěného vápníku a hořčíku na odtoku vody z kolony. Průtok vody (doba zdržení) v koloně musí být regulován.
3. Dávkovat do vody rozpustné sloučeniny vápníku a hořčíku ve formě roztoku, což například náš právní předpis pro kvalitu balených vod<sup>9</sup> umožňuje.

### LITERATURA

1. 252/2004 Sb. *Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*, ve znění Vyhl. 371/2023 Sb.
2. Snoeyink V. L., Jenkins D.: *Water Chemistry*. John Wiley & Sons, New York 1980.
3. <https://www.usgs.gov/software/phreeqc-version-3>, staženo 5. 11. 2024.
4. The Geochemists Workbench, <https://www.gwb.com/>, staženo 5. 11. 2024.
5. P. Pitter: *Hydrochemie*. Vydavatelství VŠCHT Praha 2015.
6. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 89. vyd. Taylor and Francis 2008–2009.
7. Sýkora V., Zátka V.: *Příruční tabulky pro chemiky*. SNTL, Praha 1960.
8. Pitter P. a kol.: *Hydrochemické tabulky*. SNTL, Praha 1987.
9. 275/2004 Sb. *Vyhláška o požadavcích na jakost a zdravotní nezávadnost balených vod a o způsobu jejich úpravy*, příloha č. 8.

V. Janda<sup>a</sup>, M. Šváb<sup>b</sup>, and O. Šráček<sup>c</sup> (<sup>a</sup> Department of Water Technology and Environmental Engineering, University of Chemistry and Technology, Prague, <sup>b</sup> Dekonta, Stehelčevy, <sup>c</sup> Department of Geology, Faculty of Science, Palacký University Olomouc, Czech Republic): **(Re)Mineralization of Drinking Water with Calcite or Dolomite**

It is shown in the contribution that increasing the concentrations of calcium and magnesium in low mineralized or demineralized water by filtering through a layer of dolomite or limestone cannot bring the desired result. The solubility of both minerals in water is low, and the solubility of carbon dioxide in water, which could increase the solubility of carbonate minerals, corresponding to its partial pressure in the atmosphere, is also small. Thus, water mineralization performed in this way does not lead to values suitable for high-quality drinking water.

Keywords: demineralized drinking water, remineralization



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.

## VYUŽITIE ANTIMYKOTÍK VO FARMAKOTERAPII ONYCHOMYKÓZ A PRIDRUŽENÝCH DERMATOMYKÓZ

ZUZANA MALINOVSKÁ<sup>a</sup>, LÍVIA JENDRÁLOVÁ<sup>a</sup>, EVA ČONKOVÁ<sup>a</sup>, PETER VÁCZI<sup>a</sup>  
a MARTINA ČIŽMÁRIKOVÁ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Katedra farmakológie a toxikológie, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, <sup>b</sup> Ústav farmakológie, Lekárska fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Trieda SNP 1, 04 011 Košice, Slovensko  
zuzana.malinovska@uvlf.sk

Došlo 30.7.24, prijaté 12.12.24.

Onychomykóza je hubové ochorenie nechtov na nohách alebo rukách s typickými klinickými prejavmi vrátane zmeny farby a štruktúry nechtu, subungválnej hyperkeratózy a onycholýzy nechtovej platničky. Liečba onychomykózy je veľmi komplikovaná a zdĺhavá, môže trvať niekoľko mesiacov a nie vždy je úspešná. Onychomykóza úzko súvisí s dermatomykózami rúk a nôh. Cieľom práce bolo zhodnotiť možnosti a využitie lokálnych a systémových antimykotík v liečbe onychomykóz a pridružených dermatomykóz. Na analýzu sa použila skupina 4004 preskripčných záznamov vydaných pacientom s onychomykózou a pridruženými dermatomykózami počas 5-ročného obdobia. Lokálne antimykotiká boli v terapii použité v 84,9 % a systémové antimykotiká v 15,1 % prípadov ochorenia. Klotrimazol (28,22 %), flutrimazol (21,28 %), ciklopirox (19,28 %) a amorolfín (16,06 %) sú najčastejšie používané lokálne antimykotiká. Na systémovú liečbu sa najčastejšie predpisoval terbinafín (10,89 %), po ktorom nasledoval itrakonazol (4 %) a flukonazol (0,25 %). Najviac predpísanými prípravkami na lokálnu terapiu boli laky na nechty s obsahom ciklopiroxu (19,28 %), laky na nechty s obsahom amorolfínu (14,91 %) a dermálny krém s obsahom klotrimazolu (14,61 %). Liečba onychomykóz a pridružených dermatomykóz lokálnymi antimykotikami prevažuje nad používaním systémových antimykotík.

Kľúčové slová: onychomykóza, azolové antimykotiká, terbinafín, liekové interakcie, gén

### Úvod

Onychomykóza je infekčné ochorenie nechtov na nohách alebo rukách a považuje sa za najrozšírenejšie ochorenie nechtov v ľudskej populácii na celom svete. Postihnutá môžu byť nechťová platnička, lôžko a matrix. Onychomykóza môže byť spôsobená dermatofytmi, z antropofilných druhov sú to najmä *Trichophyton rubrum*, *Trichophyton mentagrophytes* a *Epidermophyton floccosum*<sup>1,2</sup>. Pôvodcami môžu byť aj nedermatofytne druhy mikroskopických vláknitých húb<sup>10</sup>, napr. *Scopulariopsis brevicaulis*, *Aspergillus* spp. a *Fusarium* spp., ale aj kvasinky rodu *Candida*. Veľmi časté sú zmiešané infekcie, ktoré sú spôsobené viacerými druhmi patogénov a dosahujú prevalenciu až 11 % (cit.<sup>2-4</sup>). Podľa najnovších poznatkov, patogénne huby zodpovedné za vznik onychomykózy môžu v nechtoch vytvárať biofilmy, ktoré sa vyznačujú vyššou odolnosťou. Bunky v biofilme sú obklopené extracelulárnou maticou, ktorá ich chráni pred imunitnou odpoveďou hostiteľa, ako aj pred antifungálnymi liekmi a fyzikálnymi a chemickými stratégiami odstraňovania. Tvorba biofilmu môže byť dôvodom rezistencie na liečbu pri onychomykóze a neschopnosti úplne eradikovať spóry húb v prípadoch závažnej chronickej infekcie<sup>5,6</sup>.

Medzi klinické prejavy onychomykózy patrí zmena farby a štruktúry nechtu, subungválna hyperkeratóza a onycholýza nechtovej platničky. Na základe zmien štruktúry nechtov, spôsobu invázie a pôvodcu sa onychomykóza delí na šesť foriem: distálna a laterálna subungválna onychomykóza, povrchová onychomykóza, onychomykóza endonyxu, proximálna subungválna onychomykóza, zmiešaná onychomykóza a totálna dystrofická onychomykóza<sup>7</sup>.

Onychomykóza môže vzniknúť ako následok neliečených dermatofytových a kvasinkových infekcií na koži, tzv. dermatomykóz alebo naopak môže pôsobiť ako zdroj patogénov, z ktorého dôjde k rozšíreniu infekcie na okolité tkanivá a kožu. *Tinea pedis plantaris*, *tinea pedis interdigitalis* a *paronychia* sa bežne vyskytujú spolu s onychomykózou. Na onychomykózy sú náchylnejší starší ľudia alebo pacienti s cukrovkou a inými chronickými ochoreniami alebo imunosupresiou<sup>3</sup>. V Európe sa rozpätie výskytu onychomykózy udáva od 0,5–24 % (cit.<sup>8,9</sup>). V západných krajinách je 50–72 % prípadov onychomykózy spôsobených prevažne dermatofytmi<sup>5,8</sup>, 19 % prípadov kvasinkami<sup>2</sup> a 10 % nedermatofytmi druhmi mikroskopických vláknitých húb<sup>10</sup>. Pred začatím liečby onychomykózy je dôležitá diagnostika pôvodcu pomocou

štandardných (mikroskopia a laboratórna kultivácia) alebo presnejších metód (histológia a PCR) s následným určením citlivosti patogéna voči konkrétnym antimykotikám<sup>3</sup>.

Liečba onychomykózy je veľmi komplikovaná a zdĺhavá, môže trvať niekoľko mesiacov a nie vždy končí úplným vyliečením. Súčasné spôsoby medikamentózne liečby onychomykózy zahŕňajú použitie lokálnych a systémových antimykotík alebo ich kombinácie. Lokálna terapia sa odporúča v skorých štádiách ochorenia, keď je zasiahnutá malá časť nechtovej platničky. Na rozdiel od systémových antimykotík majú lokálne liečivá nízke riziko nežiaducich účinkov, pretože nie sú distribuované systémovo v celom organizme, z čoho vyplýva aj nižšia pravdepodobnosť liekových interakcií. Nevýhodou je ich menšia účinnosť, ktorá je zapríčinená nedostatočným prienikom účinnej látky do cieľovej infikovanej oblasti nechtovej platničky a nízkou dosiahnutou koncentráciou<sup>11</sup>. Na zvýšenie prieniku liečiva do hlbších vrstiev nechta je potrebné necht zmäknúť, preto sú lokálne antimykotické liečivá často kombinované s keratolytickými látkami, napr. urea, kyselina tioglykolová alebo sú vyrábané v špeciálnych farmaceutických formuláciách. Ak nie je lokálna liečba onychomykózy účinná ani po šiestich mesiacoch, je potrebné uvažovať o liečbe systémovými antimykotikami<sup>12</sup>. Systémové antimykotiká majú vyššiu mieru vyliečenia a kratšie liečebné obdobie ako lokálne antimykotiká, ale majú nepriaznivé vedľajšie účinky, ako je hepatotoxicita a liekové interakcie. Systémová liečba nechtovej platničky na rukách trvá minimálne 2 mesiace, na nohách 3 mesiace alebo dlhšie. Rozdiel v dĺžke kúry je spôsobený pomalším rastom nechtovej platničky na nohách<sup>13</sup>.

V súčasnosti sa na liečbu mykotických infekcií používajú štyri triedy antifungálnych látok (azoly, echinokandíny, polyény a pyrimidínové analógy) perorálne, lokálne alebo intravenózne. Piata trieda, alylamíny sa používa iba na lokálnu liečbu povrchových fungálnych infekcií. Na liečbu onychomykózy a pridružených mykotických ochorení sa používajú len niektoré typy antimykotík<sup>14</sup>.

Cieľom práce bolo zhodnotiť možnosti a využitie antimykotickej farmakologickej liečby onychomykózy a pridružených dermatomykóz.

## Experimentálna časť

Pre monitoring dostupnej liečby onychomykózy a dermatomykóz bola preskúmaná centrálna elektronická databáza farmaceutických produktov registrovaných na Slovensku.

Článok sleduje použitie špecifických antimykotík predpísaných na liečbu onychomykóz a vybraných pridružených dermatomykóz dermatológmi na Slovensku. Databáza preskripčných záznamov bola sledovaná vo vybranej lekární za päťročné obdobie od 1. 1. 2018 do 31. 12. 2022. Išlo o preskripčné záznamy vydané pacientom, ktorým bola určená diagnóza: B35.0 – dermatofytóza (*tinea*), v rámci ktorej boli zahrnuté nasledovné diagnózy: B35.1 – *tinea unguium* (dermatofytóza nechtovej platničky, mykóza nechtovej platničky), B35.2 – *tinea manuum* (dermatofytóza ruky, mykóza ruky), B35.3 – *tinea pedis* (dermatofytóza nohy, plesň nohy, mykóza nohy), B37.2 – kandidóza kože a nechtovej platničky (kandidóza: onychomykóza, paronychia). Pri analýze preskripčných záznamov boli informácie týkajúce sa osobných údajov pacientov spracované v zmysle zákona č. 18/2018 Z. z. o ochrane osobných údajov a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

## Výsledky a diskusia

V rámci analýzy dostupných liekov na onychomykózu a jej pridružené ochorenia na Slovensku sa zistilo, že pre terapiu je dostupné užšie spektrum liekov. Lieky pre lokálnu terapiu môžu obsahovať jedno zo siedmich rôznych antimykotík a pre systémovú terapiu je možný výber z piatich antimykotík (tab. I). Pre lokálnu liečbu onychomykózy a pridružených dermatomykóz sú dostupné lieky s obsahom antimykotík zo skupiny azolov (klotrimazol, flutrimazol, bifonazol), polyénov (nystatín), alylamínov (terbinafín), morfolínov (amorolfín) a hydroxypyridónov (ciklopirox). Pre systémovú antimykotickej terapiu sú dostupné lieky s obsahom flukonazolu, posakonazolu, itrakonazolu, vorikonazolu alebo terbinafínu<sup>13,15</sup>.

Za sledované obdobie päť rokov bolo získaných 4004 preskripčných záznamov (tab. II).

Tabuľka I

Zoznam antimykotík dostupných pre lokálnu a systémovú terapiu onychomykózy a pridružených dermatomykóz

Antimykotiká pre lokálnu liečbu	Antimykotiká pre systémovú liečbu
Ciklopirox	Flukonazol
Klotrimazol	Itrakonazol
Bifonazol	Posakonazol
Amorolfín	Vorikonazol
Terbinafín	Terbinafín
Nystatín	
Flutrimazol	

## Tabuľka II

Zastúpenie antimykotík a vydaných liekov v sledovanej skupine 4004 preskripčných záznamov

Účinná látka	Celkový počet preskripcií	Názov prípravku – počet vydaní
Klotrimazol	1130 (28,22 %)	Imacort crm – 585 (14,61 %) Lotriderm crm der – 279 (6,97 %) Imazol plus crm – 266 (6,64 %)
Flutrimazol	852 (21,28 %)	Micetal roztok – 444 (11,10 %) Micetal krém – 393 (9,81 %)
Ciklopirox	772 (19,28 %)	Polinail lum – 772 (19,28 %)
Amorolfín	643 (16,06 %)	Loceryl liečivý lak na nechty 5 % – 597 (14,91 %) Amorolfín Belupo 50 mg/ml liečivý lak na nechty – 46 (1,15 %)
Terbinafín <sup>a</sup>	436 (10,89 %)	Onychomed 250 mg tbl – 372 (9,30 %) Terbinafín Mylan 250 mg tbl – 63 (1,57 %) Terbinafín Actavis 250 mg tbl – 1 (0,02 %)
Itrakonazol <sup>a</sup>	160 (4,00 %)	Prokonazol 100 mg cps dur – 96 (2,40 %) Sporanox cps dur 100 mg – 64 (1,60 %)
Flukonazol <sup>a</sup>	10 (0,25 %)	Medoflucon 150 mg cps dur – 10 (0,25 %)
Bifonazol	1 (0,02 %)	Canespor roztok – 1 (0,02 %)

<sup>a</sup> Systémové antimykotikum

V rámci ich analýzy sa zistilo, že lokálna liečba onychomykózy a pridružených dermatomykóz predstavuje až 84,9 %. Najčastejšie predpísanou účinnou látkou bol klotrimazol (28,22 %), ktorý bol zastúpený v troch prípravkoch vo forme krému, najčastejšie v kombinácii s hexamídiomdiizetionátom a prednizolónacetátom, menej v kombinácii s betametazónom alebo samostatne. Klotrimazol je členom azolovej triedy syntetických antimykotík. Azolové antimykotiká obsahujú päťčlenný heterocyklus a podľa počtu dusíkových atómov sa delia na dve skupiny, na imidazoly s dvomi dusíkovými atómami a na triazoly s tromi dusíkovými atómami<sup>16</sup>. Klotrimazol patrí do imidazolovej podtriedy azolových liečiv a je liekom prvej voľby pri liečbe *tinea pedis* (atletická noha). Molekulový vzorec klotrimazolu je C<sub>22</sub>H<sub>17</sub>ClN<sub>2</sub> a jeho molekulová hmotnosť je 344,8 g mol<sup>-1</sup>. Svojou štruktúrou 1-[(2-chlór-fenyl)difenylmetyl]-1*H*-imidazol sa považuje za chemicky zvláštny. Obsahuje štyri aromatické kruhy viazané na tetraedrický (sp<sup>3</sup> hybridizovaný) atóm uhlíka, čo spôsobuje vysoko stericke zaťaženie tohto atómu. Jednou z aromatických skupín je imidazolový kruh, o ktorom je známe, že sprostredkúva reakcie prenosu elektrónov v biologických systémoch. Jeho zostávajúce aromatické kruhy obsahujú trifenylmetylový systém – štruktúru, o ktorej je známe, že tvorí a stabilizuje radikálové medziprodukty. Klotrimazol sa používa len na lokálnu terapiu, okrem terapie dermatomykóz sa využíva v liečbe vulvovaginálnej a orofaryngeálnej kandidózy<sup>17</sup>. Okrem antimykotických vlastností má klotrimazol aj rôzne iné farmakologické účinky, napr. inhibícia Ca<sup>2+</sup>-ATPázy sarkoplazmatického retikula, deplécia intracelulárnych zásob vápnika a blokáda draslíkových kanálov závislých od vápnika a vápníkových kaná-

lov závislých od napätia, ktoré sa využívajú pri liečbe rôznych ochorení (kosáčikovitá anémia, malária a niektoré druhy rakoviny)<sup>15</sup>.

Druhou najčastejšie predpísanou účinnou látkou bol flutrimazol (21,28 %). Imidazolový derivát, flutrimazol (C<sub>22</sub>H<sub>16</sub>F<sub>2</sub>N<sub>2</sub>) bol vydaný vo forme roztoku (11,09 %), krému (9,81 %) a najmenej gélu (0,37 %). Okrem onychomykózy sa flutrimazol používa najmä v liečbe *tinea pedis*<sup>18</sup>. Všetky antimykotiká azolového typu interferujú s biosyntézou ergosterolu, ktorý je hlavnou zložkou fungálnej cytoplazmatickej membrány. Špecificky, azoly vrátane klotrimazolu a flutrimazolu priamou väzbou na mikrozomálny cytochróm P450 (CYP450) inhibujú enzým lanosterol-14 $\alpha$ -demetyláza, ktorý katalyzuje premenu lanosterolu na ergosterol, čo je životne dôležitý krok v biosyntéze ergosterolu hubami<sup>19–21</sup>. Výsledná deplécia ergosterolu a jeho nahradenie aberantnými druhmi sterolov narúša normálnu priepustnosť a fluiditu membrány. V štúdiách *in vivo* a *in vitro* sa preukázalo, že antifungálna aktivita flutrimazolu je porovnateľná s aktivitou klotrimazolu a je vyššia ako u bifonazolu<sup>22</sup>. V sledovanej skupine 4004 pacientov sa použitie bifonazolu skoro vôbec nepotvrdilo, predpísaný bol len v jednom prípade (0,02 %).

Až v 772 prípadoch bolo vydané antimykotikum ciklopirox (19,28 %), ktoré bolo vydané v jednom lieku vo forme laku. Za päťročné obdobie bol daný lak najpredpisovanejším liekom v rámci všetkých preskripčných záznamov. Ciklopirox je syntetické antifungálne činidlo, ktoré patrí do skupiny hydroxypyridónov a má široké spektrum účinku (fungistatický, fungicídny, bakteriostatický) proti dermatofytom, kvasinkám, vláknitým mikroskopickým hubám a dokonca proti niektorým baktériám. Kli-

nicky sa ciklopirox bežne používa ako olamínová soľ – ciklopirox olamín, ale vo farmakologických aspektoch nie je rozdiel medzi ciklopiroxom a jeho olamínovou soľou. Ciklopirox je biely alebo svetložltý prášok s teplotou topenia 128–130 °C, chemickým názvom 6-cyklohexyl-1-hydroxy-4-metyl-2(1*H*)-pyridinón, molekulovým vzorcom C<sub>12</sub>H<sub>17</sub>NO<sub>2</sub> a molekulovou hmotnosťou 207,27 g mol<sup>-1</sup>. Ciklopirox aj ciklopirox-olamín sú ťažko rozpustné vo vode, ale veľmi dobre rozpustné v metanole, etanole a dimetylsulfoxide<sup>23,24</sup>. Pre lepšiu permeáciu ciklopiroxu do nechtovej platničky bola patentovaná nová technológia liekovej formulácie na dodávanie účinných látok do nechtu na báze hydrorozpustného polosyntetického aminopolysacharidového biopolymérneho derivátu chitosanu označená ako ciklopirox hydroxypropylchitosan<sup>25</sup>. Mechanizmus antifungálneho účinku ciklopiroxu nie je úplne známy, ale antifungálna aktivita ciklopiroxu je pripisovaná jeho chelácii kationov trojmocných kovov, ako je Fe<sup>3+</sup>, inhibícii enzýmov závislých od kovov zodpovedných za degradáciu toxických metabolitov a zacieleniu na rôzne metabolické procesy a procesy produkujúce energiu vo fungálnej bunke. Liečba ciklopiroxom zasahuje do mitochondriálneho transportu elektrónov, produkcie energie a klírens reaktívnych foriem kyslíka a vedie k poškodeniu DNA. Viacúčinný mechanizmus účinku prispieva nielen k jeho širokospektrálnej antifungálnej aktivite, ale aj k zriedkavým prípadom klinickej rezistencie. Výsledky terapie vo viacerých štúdiách sú veľmi variabilné, metaanalýza potvrdila vysokú účinnosť a bezpečnosť ciklopiroxu mykologickým hodnotením 52,6 ± 4,2 % (cit.<sup>26</sup>).

Pre lokálnu liečbu je veľmi často používaný morfolínový derivát s fungistatickým účinkom, amorolfin. V rámci preskripčnej analýzy dosiahol štvrté miesto (16,06 %). Amorolfin je jediný zástupca antimykotickej skupiny morfolínov, ktorý sa používa v klinickej praxi, a to ako amorolfin-hydrochlorid. Amorolfin s chemickým názvom (2*R*,6*S*)-2,6-dimetyl-4-[2-metyl-3-[4-(2-metylbután-2-yl)fenyl]propyl]morfolín, molekulovým vzorcom C<sub>21</sub>H<sub>35</sub>NO a molekulovou hmotnosťou 317,5 g mol<sup>-1</sup> inhibuje syntézu ergosterolu na dvoch úrovniach: inhibíciou C-14 sterolreduktázy a C-8 sterolizomerázy, čo ovplyvňuje syntézu membrán patogénov, vyčerpáva ergosterol a spôsobuje akumuláciu netytických sférických sterolov v cytoplazmatických membránach húb<sup>27</sup>. Pri onychomykóze sa používa v lakoch ako vo vode nerozpustný 5% polymerný derivát. Farmakokinetické vlastnosti umožňujú dobrý prienik cez necht do nechtového lôžka, absorpcia účinnej látky do obehu je veľmi nízka a v nechte môže byť detegovaný asi 2 týždne<sup>28</sup>. Úplné vyliečenie, definované ako žiadny mykologický nález a úplné klinické vyliečenie alebo udržanie < 10 % postihnutého nechtu, sa dosiahlo u 38 % pacientov s použitím 5% amorolfinu<sup>29</sup>. Podobné výsledky liečby mal amorolfin aj u 725 ľudí s onychomykózou nechtovej na nohách, u ktorých vyliečenie dosiahlo 44,6 % pacientov<sup>30</sup>. V štúdiu sledujúcej lokálnu liečbu autori dospeli k záveru, že výsledky podporujú použitie lokálnych terapií, ale miera úplného vyliečenia bola relatívne nízka. Naznačujú, že terapia ciklopiroxom

8 % HPCH (hydroxypropyl chitosan) je úspešnejšia v porovnaní s amorolfinom 5 % a vo vode nerozpustným ciklopiroxom 8 % (cit.<sup>11</sup>).

V sledovanej skupine pacientov bola systémová terapia použitá v 15,1 %, pričom terbinafin dosiahol 10,89 % celkovej preskripcie. Pre systémovú liečbu bol predpísaný aj itrakonazol (4 %) a veľmi málo flukonazol (0,25 %). Terbinafin patrí do skupiny alylamínov. Ide o lipofilné, keratofilné, chemicky syntetizované antimykotikum, ktoré fungicídne pôsobí na dermatofyty, ale aj non-dermatofyty a fungistaticky na kvasinky *Candida* spp. Terbinafin nezávisle od cytochrómu P450 (azoly – inhibícia enzýmu 14α-demetylázy – priama väzba na cytochróm 450) ovplyvňuje syntézu ergosterolu inhibíciou enzýmu skvalénepoxidáza. Nahromadenie skvalénu a nedostatok ergosterolu v bunkovej stene citlivých húb spôsobí zvýšenú priepustnosť membrány a následne poškodenie a smrť buniek húb. Terbinafin ((*E*)-*N*,6,6-trimetyl-*N*-(naftalén-1-ylmetyl)hept-2-én-4-ín-1-amín) s molekulovým vzorcom C<sub>21</sub>H<sub>25</sub>N a molekulovou hmotnosťou 291,4 g mol<sup>-1</sup> sa pre systémovú terapiu onychomykózy nechtovej využíva vo forme terbinafin-hydrochloridu v dávke 250 mg alebo 500 mg/deň počas 3 až 12 mesiacov. Terbinafin sa po orálnom podaní akumuluje v tukových a keratinizovaných tkanivách, kde jeho koncentrácia niekoľkonásobne prekračuje inhibičnú koncentráciu už po 14 dňoch a udrží sa až 4–6 týždňov v koži a 3–9 mesiacov v nechtoch po ukončení liečby. Na rozdiel od azolových antimykotík sa terbinafin len slabšie viaže na cytochróm P450, a preto neinterferuje s produkciou steroidných hormónov u hostiteľa a má malý potenciál interakcie s inými liekmi. Okrem toho je cicavčia skvalénepoxidáza podstatne menej citlivá ako fungálny enzým na inhibíciu terbinafinom. Tieto výhody predurčujú terbinafin byť úspešným antimykotikom pre liečbu onychomykózy<sup>31,32</sup>. Najnovšie zistenia ukazujú na vážny problém, a to na čoraz viac sa objavujúcu rezistenciu na terbinafin, ktorá sa potvrdila najmä u izolátov dermatofytov s génovou mutáciou SQLE. V Európe boli rezistentné kmene *T. rubrum* a *T. interdigitale* s SQLE mutáciami identifikované vo Švajčiarsku, Nemecku, Poľsku, Belgicku a Dánsku. Klinicky bola znížená citlivosť (s čiastočnou alebo žiadnou odpoveďou na liečbu) pozorovaná hlavne pri dávkovaní 250 mg raz denne<sup>31</sup>. Rezistencia patogénov nie je problémom len pri terbinafine, ale aj pri ostatných skupinách antimykotík. Ergosterol ako hlavný najvýznamnejší štruktúrálly lipid bunkových membrán húb je cieľom mnohých antimykotík. Biosyntéza ergosterolu je regulovaná prostredníctvom aktivity produktov 25 rôznych génov. V súčasnosti dostupné antimykotiká interferujúce so syntézou ergosterolu ovplyvňujú produkty génu *ERG11* (azoly), génu *ERG1* (alylamíny) a génu *ERG2* (morfolíny)<sup>33,34</sup>. Mutácie v spomínaných génoch vedú cez rôzne mechanizmy k zníženiu citlivosti na antimykotiká. Rezistencia môže byť spôsobená aj efluxom liečiva sprostredkovaného membránovými transportnými proteínmi patriacimi do rodiny ATP-Binding Cassette (ABC), ktoré sú regulované génmi *CDR1* a *CDR2* alebo proteínmi rodiny Major Facilitator Superfamily (MFS), ktoré sú regulované génmi

*MDR1*. Pokiaľ nastane zvýšená expresia týchto génov, dôjde k zvýšenej rezistencii na antimykotiká. Gény *CDR1*, *CDR2* a *MDR1* sprostredkujú okrem rezistencie na azoly rezistenciu aj na mnoho rôznych xenobiotík a *CDR1* a *CDR2* tiež spôsobujú aj rezistenciu na lokálne fungicídy terbinafin a amorolfín<sup>35–37</sup>.

Širokospektrálne triazolové antimykotikum itraconazol bolo v systémovej liečbe onychomykózy použité v 4 % celkového počtu preskripcií. Itraconazol má chemický názov 2-bután-2-yl-4-[4-[4-[[[(2*R*,4*S*)-2-(2,4-dichlórfenyl)-2-(1,2,4-triazol-1-yl)metyl]-1,3-dioxolan-4-yl]metoxy]fenyl]piperazín-1-yl]fenyl]-1,2,4-triazol-3-ón, molekulový vzorec  $C_{35}H_{38}Cl_2N_8O_4$  a molekulovú hmotnosť  $705,64 \text{ g mol}^{-1}$ . Molekula itraconazolu má tri chirálne uhľíky. Dve chirálne centrá v dioxolánovom kruhu sú voči sebe fixované a substituenty triazolometylénového a aryloxymetyléndioxolánového kruhu sú vždy navzájom cis. Klinická formulácia je 1:1:1:1 zmes štyroch stereoizomérov (dva enantiomérov páry). Itraconazol má afinitu k lipidom, ale flukonazol je hydrofilný a má odlišné farmakokinetické vlastnosti. Itraconazol je slabo alkalický a v žalúdku sa vstrebáva najlepšie za prítomnosti žalúdočnej šťavy (v pevnej liekovej forme po jedle). Flukonazol má vysokú biologickú dostupnosť, po perorálnom podaní dosahuje flukonazol maximálnu koncentráciu za 30–90 minút a itraconazol až za 4 hodiny. Oba dobre prenikajú do telesných tekutín a tkanív, kde dosahujú výrazne vyššie koncentrácie ako v plazme a v nechtovej platničke pretrvávajú až 6 mesiacov po liečbe<sup>38</sup>. V štúdiu liečby onychomykózy nechto na nohách sa zistilo, že terbinafin je účinnejší ako itraconazol<sup>32</sup>. Triazolové antimykotiká vorikonazol a posakonazol sú určené na systémovú liečbu mykotických ochorení spôsobených rodomi *Fusarium*, *Aspergillus*, *Candida* atď., ale pre liečbu onychomykózy sa v dermatologickej praxi používajú veľmi málo alebo vôbec<sup>39</sup>, čo potvrdila aj naša analýza preskripcií. Vorikonazol a posakonazol neboli v sledovanej skupine preskripcií zaznamenané.

Itraconazol a flukonazol sú fungistatické a majú viac potenciálnych vedľajších účinkov a liekových interakcií ako terbinafin<sup>40</sup>. Flukonazol je fluorizované bistrizolové antimykotikum a v sledovanej skupine pacientov bol použitý na liečbu onychomykózy len u desiatich pacientov. Triazolové antimykotiká itraconazol a flukonazol (1. generácia), posakonazol a vorikonazol (2. generácia), ale aj terbinafin zo skupiny alylamínov môžu spôsobiť závažné vedľajšie účinky. Pri užívaní orálnych antimykotík je potrebné preveriť zdravotný stav pacienta a dbať na opatrnosť najmä pri pacientoch s poruchami funkcie pečene a obličiek, čo je hlavná kontraindikácia pri ich predpise. Hepatotoxicita bola vo väčšine prípadov po prerušení terapie reverzibilná. Odporúča sa starostlivo sledovať pacientov, u ktorých sa počas liečby objavila abnormálne pečeno-vé testy, aby sa skontrolovalo, či nedošlo k závažnejšiemu poškodeniu pečene. Antimykotikum sa má vysadiť, ak sa vyvinú klinické príznaky a symptómy zhodné s ochorením pečene. Inhibícia cytochrómu P450 azolmi (flukonazol, itraconazol, posakonazol a vorikonazol) prispieva k mno-

hým nežiaducim účinkom z dôvodu, že do určitej miery azoly pôsobia aj na biotransformačné enzýmy cytochrómu P450 pacienta. Z takýchto nežiaducich účinkov sa môžu spomenúť napr. nedostatočnosť nadobličiek v dôsledku narušenia hormónov, zatiaľ čo farmakokinetické interakcie môžu viesť k myozitíde alebo periférnej neuropatii. Ďalšie nežiaduce účinky zahŕňajú pankreatitídu, bolesť kostí, zlyhanie obličiek, rakovinu kože a Stevensov-Johnsonov syndróm. Nežiaduce účinky možno zvládnuť monitorovaním plazmatických hladín triazolov, úpravou dávkovania alebo zamenou antimykotika<sup>41</sup>.

K liekovým interakciám pri liečbe azolmi dochádza v závislosti od štruktúry a farmakokinetiky azolového antimykotika. Môže dôjsť k interakcii s enzýmami cytochrómu P450, najmä k inhibícii enzýmu CYP3A4, ktorý sa podieľa na premene až 50 % všetkých liečiv a nachádza sa hlavne v pečeni a v gastrointestinálnom trakte. Pri inhibícii enzýmu vzniká väzba dusíkového atómu liečiva na hemové železo enzýmu, a to vedie k zníženiu biotransformácie spolupodaného liečiva alebo k narušeniu syntézy steroidných hormónov<sup>42–44</sup>. Skupiny interagujúcich liečiv s triazolmi tvoria H-antihistaminiká, antineoplastiká, antimikrobiálne látky, steroidy, opioidy, antiretrovirálne látky, dlhodobé pôsobiace barbituráty, kardiovaskulárne liečivá, psychotropné látky a kontraceptíva. Pri rizikových pacientoch sa odporúča monitoring plazmatických hladín azolov pomocou kvapalinovej chromatografie a na základe meraní upraviť dávkovanie podľa individuálnej potreby pacienta. Okrem spomínaných je potrebné zvýšiť opatrnosť aj pri ďalších možných interakciách, napr. itraconazol a vorikonazol sa nesmie užívať súbežne s prípravkami obsahujúcimi ľubovník bodkovaný (*Hypericum perforatum*) alebo posakonazol s námeľovými alkaloidmi, s inhibítormi HMG-CoA reduktázy (simvastatínom, lovastatínom a atorvastatínom), so substrátmi CYP3A4 (terfenadínom, astemizolom, cisapridom, pimozidom, halofantrínom alebo chinidínom), Pacienti liečení warfarínom, ktorým bol predpísaný flukonazol, potrebujú monitorovanie INR (International Normalised Ratio – Medzinárodný normalizovaný pomer), pretože boli hlásené prejavy krvácania<sup>41,43</sup>.

Pri liečbe azolovými antimykotikami dochádza k liekovým interakciám okrem ovplyvnenia biotransformácie inhibíciou aktivity enzýmov cytochrómu P450 aj inhibíciou liekových transportérov bunkových membrán, hlavne P-glykoproteínu. P-Glykoproteín je membránový efluxný transportér z rodiny ABC transportných proteínov a je zodpovedný za transport množstva liečiv v membránach enterocytov, hepatocytov, buniek endotelu hematoencefalickej bariéry atď. Itraconazol inhibuje transepiteliálny transport dioxínu *in vitro*, flukonazol naopak neinhobiloval P-glykoproteín. Vo viacerých klinických štúdiách boli potvrdené liekové interakcie itraconazolu so substrátmi P-glykoproteínu, napr. paroxetínom, fexofenadínom, morfínom. Itraconazol spôsobuje inhibíciu P-glykoproteínu zníženie tubulárnej sekrécie cimetidínu, zníženie renálneho clearance dioxínu v obličkových tubulárnych bunkách. S itraconazolom a P-glykoproteínom

súvisí viacero liekových interakcií<sup>45</sup>.

Najnovšie výskumy potvrdzujú, že niektoré látky dokážu ovplyvniť génovú expresiu niektorých enzýmov a transportérov. Expresia CYP3A4 je riadená prostredníctvom nukleárných receptorov, ide hlavne o pregnanový X receptor a konštitutívny androstanový receptor. Látky, ktoré sú ligandami týchto receptorov môžu ovplyvniť expresiu a aktivitu veľkého množstva biotransformačných enzýmov a liekových transportérov, a tým aj farmakokinetiku jejich substrátov a aj niektoré fyziologické procesy v organizme. Azolové antimykotiká klotrimazol a ketokonazol vystupujú ako ligandy pregnanového X receptora, klotrimazol ako jeho agonista a ketokonazol ako antagonist. U systémovo podávaných azolov (itraconazol, flukonazol a vorikonazol) nebola pozorovaná interakcia s receptorom. Väzba na konštitutívny androstanový receptor a down regulácia transkripcie CYP3A4 bola zistená u klotrimazolu<sup>44,46</sup>.

Z metaanalýzy terapie onychomykózy nechtov na nohách vyplýva, že miera mykotického vyliečenia bola 76 % pre terbinafin, 63 % pre itraconazol s pulzným dávkovaním, 59 % pre itraconazol s kontinuálnym dávkovaním a 48 % pre flukonazol. Miera klinického vyliečenia bola 66 % pre terbinafin, 70 % pre itraconazol s pulzným dávkovaním, 70 % pre itraconazol s kontinuálnym dávkovaním a 41 % pre flukonazol<sup>13</sup>. Metaanalýza z roku 2017 štyridsiatichôsmich randomizovaných kontrolovaných štúdií hodnotiacich účinky perorálnych antifungálnych liekov na liečbu onychomykózy nechtov na nohách zhodnotila, že terbinafin vedie k lepšiemu klinickému a mykologickému vyliečeniu ako iné antimykotiká<sup>47</sup>.

Uskutočnilo sa niekoľko štúdií na vyhodnotenie účinnosti kombinovanej terapie lakmi s obsahom amorolfínu a ciklopiroxu s antifungálnymi perorálnymi liekmi. Zistilo sa, že lak s ciklopiroxom v kombinácii s terbinafinom a itraconazolom zvyšuje percento vyliečených pacientov. Pozorovalo sa aj zvýšenie účinnosti kombinácie amorolfínového laku a terbinafinu, itraconazolu, griseofulvínu a flukonazolu. Údaje naznačujú, že na dosiahnutie terapeutického účinku je príjem systémového lieku v kombinácii s amorolfínom kratší v porovnaní s monoterapiou perorálnymi liekmi. Po ukončení liečby onychomykózy sa odporúča ešte dočasné používanie lokálneho antimykotika (raz za 2 týždne) ako profylaxiu recidívy ochorenia<sup>27</sup>.

Pri analýze pohlavia a veku pacientov sa zistilo, že ženy v celkovom množstve pacientov predstavovali 55 % a muži 45 %. Najväčšiu skupinu pacientov, ktorým boli vydané lieky z preskripčných záznamov za dané obdobie, tvorila veková kategória od 41 do 65 rokov (44 %) a skupina pacientov nad 65 rokov (35 %). Pacienti vo veku 18–40 rokov tvorili 17 %. Odborná literatúra uvádza, že najviac postihnutí (50 %) bývajú pacienti starší ako 70 rokov. V našej skupine bol najvyšší výskyt v strednej generácii do 60 rokov, čo môže byť spôsobené vyššou mierou starostlivosti strednej populácie o svoje zdravie, ale aj zovňajšok, keďže onychomykóza je aj estetický problém. Pacienti nad 70 rokov sú vystavení vyššiemu riziku mykotických ochorení z dôvodu oslabenej imunity a mnohých

ďalších chronických ochorení. Naopak deti trpia onychomykózou nechtov najmenej, čo sa potvrdilo aj v analyzovanej skupine, najmenej liekov bolo vydaných pacientom vo veku do 18 rokov (4 %). V inej štúdií bola miera postihnutia u detí 0,7 %. U detí a mladých je výskyt onychomykózy menej častý aj z dôvodu rýchlejšieho rastu nechtov ako u dospelých<sup>48,49</sup>.

Onychomykóza je ochorenie, ktoré okrem zdravia nepriaznivo ovplyvňuje aj spoločenské vyžitie človeka. V počiatočnom štádiu infekcie je ochorenie často zanedbávané a nie je venovaný dostatočný záujem a dôraz na liečbu. Postupom času sa plesňová infekcia môže rozšíriť do hlbších vrstiev alebo napadnúť viac nechtov. Čím je však onychomykóza závažnejšia, tým menej úspešnú liečbu možno dosiahnuť.

## Záver

Cieľom liečby pri onychomykóze je eliminovať fungálny patogén, obnoviť necht a zabrániť reinfekcii. V súčasnosti existujú tri hlavné farmakologické stratégie – perorálna liečba, lokálna liečba a kombinovaná liečba. Výber terapie závisí od rozsahu a závažnosti infekcie, od druhu patogéna, typu onychomykózy, postihnutia matrixu, počtu napadnutých nechtov, lokalizácie (prsty na nohách alebo rukách), rizika liekových interakcií alebo nežiaducich účinkov a úspechu alebo zlyhania predchádzajúcej liečby. Systémová liečba má vysokú účinnosť, ale môže byť spojená so systémovými nežiaducimi udalosťami a liekovými interakciami a vyžaduje si laboratórne monitorovanie biochemických parametrov, najmä hepatálnych. Ako najčastejšie systémové antimykotikum sa pri onychomykóze potvrdil terbinafin. Lokálne antimykotiká sa využívajú na liečbu miernych až stredne ťažkých stavov onychomykózy, ale v porovnaní so systémovými antimykotikami dosahujú menšiu úspešnosť liečby. Z dôvodu veľmi nízkeho rizika nežiaducich účinkov a interakcií sú však lokálne antimykotiká často liekmi prvej voľby, najviac preferovanými v rámci sledovanej skupiny pacientov, ale aj z výsledkov iných štúdií sú laky s obsahom amorolfínu a ciklopiroxu. Kombinovaná terapia onychomykózy perorálnymi a lokálnymi liekmi je výhodnou a často používanou terapeutickou metódou vzhľadom na skutočnosť, že využíva synergizmus antimykotík s rôznym mechanizmom účinku.

*Práca (štúdia) bola podporená Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied (VEGA 1/0446/22).*

## Zoznam skratiek

ABC	ATP-Binding Cassette
CYP450	Cytochróm P450
MFS	Major Facilitator Superfamily
INR	Medzinárodný normalizovaný pomer

## LITERATÚRA

1. Augustin M., Radtke M. A., Herberger K., Kornek T., Heigel H., Schaefer I.: *Dermatology* 227, 10 (2013).
2. Ghannoum M. A. a 22 spoluautorov: *J. Am. Acad. Dermatol.* 43, 641 (2000).
3. Richert B., Baran R., Thomas L., Holzberg M., de Berker D. A. R., Piraccini B. M. (ed): *Baran & Dawber's Diseases of the Nails and their Management*, Wiley-Blackwell, Hoboken, New York, 2019.
4. Salakshna N., Bunyaratavej S., Matthapan L., Lertrujivanit K., Leeyaphan C. A.: *J. Am. Acad. Dermatol.* 79, 1145 (2018).
5. Gupta A. K., Daigle D., Carviel J. L.: *J. Am. Acad. Dermatol.* 74, 1241 (2016).
6. Borghi E., Borgo F., Morace G.: *Adv. Microbiol. Infect. Dis. Public Health* 3, 37 (2016).
7. Hay R. J., Baran R.: *J. Am. Acad. Dermatol.* 65, 1219 (2011).
8. Ioannidou D. J., Maraki S., Krasagakis S. K., Tosca A., Tselentis Y.: *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* 20, 170 (2006).
9. Burzykowski T., Molenberghs G., Abeck D., Haneke E., Hay R., Katsambas A., Roseeuw D., van de Kerckhof P., van Aelst R., Marynissen G.: *Mycoses* 46, 496 (2003).
10. Welsh O., Vera-Cabrera L., Welsh E.: *Clin. Dermatol.* 28, 151 (2010).
11. Foley K., Gupta A. K., Versteeg S., Mays R., Villanueva E., John D.: *Cochrane Database Syst. Rev.* 1, CD012093 (2020).
12. Lee D. K., Lipner S. R.: *Ann. Med.* 54, 694 (2022).
13. Gupta A. K., Ryder J. E., Johnson A. M.: *Br. J. Dermatol.* 150, 537 (2004).
14. Castelli M. V., Butassi E., Monteiro M. C., Svetaz L. A., Vicente F., Susana A., Zacchino S. A.: *Expert Opin. Ther. Pat.* 24, 323 (2014).
15. Crowley P. D., Gallagher H. C.: *J. Appl. Microbiol.* 117, 611 (2014).
16. Sádaba B., García Quetglas E., Azanza J. R.: *Rev. Esp. Quimioterap.* 17, 71 (2004).
17. Kahler J. P., Aloï V. D., Miedes Aliaga J., Kerselaers S., Voets T., Vriens J., Verhelst S. H. L., Barniol-Xicota M.: *ACS Chem. Biol.* 18, 456 (2023).
18. Pereda J., Noguera X., Boncompte E., Algueró M., Izquierdo I.: *Mycoses* 46, 126 (2003).
19. Koselny K., Mutlu N., Minard A. Y., Kumar A., Krysan D. J., Wellington M.: *mBio* 9, e01204 (2018).
20. Man S. M., Karki R., Kanneganti T. D.: *Immunol. Rev.* 277, 61 (2017).
21. Wellington M., Koselny K., Sutterwala F. S., Krysan D. J.: *Eukaryot. Cell* 13, 329 (2014).
22. Alomar A., Videla S., Delgadillo J., Gich I., Izquierdo I., Forn J.: *Dermatology* 190, 295 (1995).
23. Shen T., Huang S.: *Curr Pharm Des.* 22, 4443 (2016).
24. Subissi A., Monti D., Togni G., Mailland F.: *Drugs* 70, 2133 (2010).
25. Piraccini B. M., Iorizzo M., Lencastre A., Nenoff P., Rigopoulos D.: *Dermatol. Ther.* 10, 917 (2020).
26. Gupta A. K., Baran R.: *J. Am. Acad. Dermatol.* 43, S96 (2000).
27. Tabara K., Szewczyk A. E., Bienias W., Wojciechowska A., Pastuszka M., Oszukowska M., Kaszuba, A.: *Postepy Dermatol. Alergol.* 32, 40 (2015).
28. Finch J. J., Warshaw E. M.: *Dermatol. Ther.* 20, 31 (2007).
29. Lauharanta J.: *Clin. Exp. Dermatol.* 17, 41 (1992).
30. Zaug M., Bergstraesser M.: *Clin. Exp. Dermatol.* 17, 61 (1992).
31. Shen J. J., Arendrup M. C., Verma S., Saunte D. M. L.: *Dermatology* 238, 60 (2022).
32. Bhatia A., Kanish B., Badyal D. K., Kate P., Choudhary S.: *Indian J. Pharmacol.* 51, 116 (2019).
33. Dhingra S., Cramer R. A.: *Front. Microbiol.* 8, 92 (2017).
34. Bhattacharya S., Esquivel B. D., White T. C.: *mBio* 9, e01291 (2018).
35. de Waard M. A., Andrade A. C., Hayashi K., Schoonbeek H. J., Stergiopoulos I., Zwiers L. H.: *Pest Manage. Sci.* 62, 195 (2006).
36. Piddock L. J.: *Clin. Microbiol. Rev.* 19, 382 (2006).
37. Schuetzner-Muehlbauer M., Willinger B., Egner R., Ecker G., Kuchler K.: *Int. J. Antimicrob. Agents* 22, 291 (2003).
38. Kunze K. L., Nelson W. L., Kharasch E. D., Thummel K. E., Isoherranen N.: *Drug Metab. Dispos.* 34, 583 (2006).
39. Chen L., Krekels E. H. J., Verweij P. E., Buil J. B., Knibbe C. A. J., Brüggemann R. J. M.: *Drugs* 80, 671 (2020).
40. Hoy N. Y., Leung A. K., Metelitsa A. I., Adams S.: *ISRN Dermatol.* 2012, 680163 (2020).
41. Adis Medical Writers: *Drugs Ther. Perspect.* 36, 139 (2020).
42. Yamaguchi Y., Akiyoshi T., Kawamura G., Imaoka A., Miyazaki M., Guengerich F. P., Nakamura K., Yamamoto K., Ohtani H.: *Drug Metab. Pharmacokinet.* 38, 100384 (2021).
43. Saad A. H., DePestel D. D., Carver P. L.: *Pharmacotherapy* 26, 1730 (2006).
44. Murayama N. a 11 spoluautorov: *Drug Metab. Pharmacokinet.* 17, 150 (2002).
45. Krausová L., Grim J., Pávek P.: *Klin. Farmakol. Farm.* 23, 86 (2009).
46. Marx-Stoelting P., Knebel C., Braeuning A.: *Cells* 9, 1192 (2020).
47. Kreijkamp-Kaspers S., Hawke K., Guo L., Kerin G., Bell-Syer S. E., Magin P., Bell-Syer S. V., van Driel M. L.: *Cochrane Database Syst. Rev.* 7, CD010031 (2017).
48. Daggert C., Brodell R. T., Daniel C. R., Jackson J.: *Am. J. Clin. Dermatol.* 20, 691 (2019).
49. Westerberg D. P., Voyack M. J.: *Am. Fam. Physician* 88, 762 (2013).

**Z. Malinovská<sup>a</sup>, L. Jendrálová<sup>a</sup>, E. Čonková<sup>a</sup>, P. Váczi<sup>a</sup>, and M. Čížmáriková<sup>b</sup>** (<sup>a</sup>*Department of Pharmacology and Toxicology, University of Veterinary Medicine and Pharmacy in Košice, Košice, Slovakia,* <sup>b</sup>*Department of Pharmacology, Faculty of Medicine, Pavol Jozef Šafárik University in Košice, Košice, Slovakia*): **The Use of Antifungals in the Pharmacotherapy of Onychomycoses and Associated Dermatomycoses**

Onychomycosis is a fungal disease of the toenails or fingernails with a typical clinical manifestation including change in the color and structure of the nail, subungual hyperkeratosis and onycholysis of the nail plate. Treatment of onychomycosis is very complicated and lengthy. Onychomycosis is closely related to dermatomycoses of the hands and feet. The aim of the work was to evaluate the possibilities and use of local and systemic antifungals in the treatment of onychomycoses and associated dermatomycoses. A group of 4004 prescription records issued to patients with onychomycosis and associated dermatomycoses over a 5-year

period was used for the analysis. Local antifungals were used in therapy in 84.9% while systemic antifungals in 15.1%. Clotrimazole (28.22%), flutrimazole (21.28%), ciclopirox (19.28%), and amorolfine (16.06%) are the most commonly used local antifungals. For systemic therapy, terbinafine was mostly prescribed agent (10.89%) followed by itraconazole (4%) and fluconazole (0.25%). The most prescribed preparations for local therapy were nail polish containing ciclopirox (19.28%), nail polish containing amorolfine (14.91%), and dermal cream containing clotrimazole (14.61%). The treatment of onychomycosis and associated dermatomycoses with local antifungals prevails over the use of systemic antifungals.

**Keywords:** onychomycosis, azole antifungals, terbinafine, drug interactions, gene

#### *Acknowledgements*

*This work (project) was supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic and Slovak Academy of Sciences (VEGA grant No. 1/0446/22).*



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.

## MIKROSKOPIE JEDNODUCHÝCH PREPARÁTŮ A ODBORNÝ NÁKRES JAKO UNIKÁTNÍ NÁSTROJ HARMONICKÉHO ROZVOJE STUDENTŮ V LABORATORNÍ VÝUCE

JINDŘIŠKA ANGELINI a EVA BENEŠOVÁ

Ústav biochemie a mikrobiologie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika  
jinmat@centrum.cz

Došlo 13.6.24, přijato 17.12.24.

Mikroskopie je důležitým nástrojem ve výuce biologie, chemie a příbuzných vědních oborů na různých stupních školního vzdělávání, neboť umožňuje využít vizuální zkušenost k pochopení základních přírodních struktur, jevů a principů. Presentovaný text se pokouší nastínit jednotlivé části procesu, kterými by si měli studenti projít během hodiny zahrnující praktické ukázky mikroskopie, a vysvětlit konkrétní přínosy jednotlivých činností v širším kontextu rozvoje myšlení a dalších studijních dovedností i s přesahem do běžného života. Zároveň si text klade za cíl nabídnout pedagogům inspiraci, jak svým studentům přiblížit svět přírodních věd a vzbudit jejich zájem o studium těchto oborů, a to bez nutnosti drahého přístrojového vybavení.

**Klíčová slova:** praktická mikroskopie, propojení hemisfér, optická mikroskopie, odborný (vědecký) nákres, kolenchym, xylem

### Obsah

1. Úvod
2. Důležitost přípravy biologického rostlinného materiálu pro mikroskopii (jemná motorika, teoretická znalost materiálu)
3. Výběr metody snímání, výběr zvětšení preparátu
4. Metody zvyšování kontrastu vzorku pro lepší zobrazení
5. Vědecký nákres, metody abstrakce a popis preparátu jako nástroj pochopení problematiky
6. Závěr

### 1. Úvod

Specifickou úlohu mozkových hemisfér a jejich propojení zkoumal a odhaloval už od 50. let minulého století Roger Wolcott Sperry a obdržel za to v roce 1981 Nobelovu cenu<sup>1</sup>. V posledních letech je u dětí diagnostikován nebývalý počet specifických poruch učení. Nechme nyní stranou spekulace o tom, co je příčinou; jestli chemické zatížení prostředí, endokrinní disruptory, nadbytek jednoduchých cukrů ve stravě, nedostatek pohybu, jednostranné zatěžování studentů ve vzdělávacím systému nebo lepší diagnostika. Možná od každého trochu, nevíme<sup>2,3</sup>. Víme však, že cílený rozvoj pravé mozkové hemisféry a podpora

propojení obou hemisfér zcela jednoznačně vede ke zlepšení procesu učení, kreativity, ale i výbavnosti vědomostí nejen u studentů<sup>4,5</sup>. Pravá mozková hemisféra řídí tvořivost, prostorové vnímání, výtvarné a hudební dovednosti, kdežto levá mozková hemisféra, která je dominantní u většiny dospělých lidí, řídí řeč, porozumění, počítání a psaní. K harmonickému rozvoji celé osobnosti je ale nezbytné, aby byly obě hemisféry propojeny a správně kooperovaly<sup>6</sup>. Fyzické propojení hemisfér je realizováno svazky bílé mozkové hmoty zvané *Corpus callosum*. Jeho poškození vede ke snížení paměťových funkcí, neschopnosti porozumět nebo nalézat slova, ke změnám osobnosti, změnám sociálního chování a mnoha dalším závažným příznakům<sup>7</sup>.

Na základě aktuálních informací, získaných od České školní inspekce, se ukazuje, že klasický vzdělávací systém, a především česká gymnázia, vyučují většinu předmětů frontálním způsobem (učitel vykládá látku)<sup>8</sup>. Takto se vyučují předměty, na které je ve vzdělání kladen větší důraz. Tím se ale jednostranně zatěžují především funkce levé hemisféry. Předměty rozvíjející hemisféru pravou, kde frontální způsob výuky už z podstaty nemůže úplně převažovat: výtvarné, praktické, hudební nebo ty, které rozvíjejí funkce těla, bývají upozadovány a nejsou považovány za příliš důležité. *Καλοκαγαθία* se z našich životů vytrácí. Proto je žádoucí podporovat předměty, anebo ještě lépe takové výukové metody a přístupy ke vzdělávání, které obě hemisféry propojují a studenty rozvíjejí po

všech stránkách; tím se docílí mnohem efektivnějšího vzdělávání. Dobrým příkladem může být např. tandemová výuka propojující předměty a aktivity laděné motoricky a zároveň kognitivně nebo další aktivizující druhy výuky<sup>9</sup>. Praktická výuka na všech vzdělávacích stupních může rovněž být přístup, který studenty harmonicky rozvíjí na více úrovních najednou a tím vede k přirozenému rozvíjení a propojování obou mozkových hemisfér. Dobře strukturovaná praktická výuka může být navíc zásadní pro studenty s poruchami pozornosti (ADD, z angl. Attention Deficit Disorder nebo ADHD, z angl. Attention Deficit Hyperactivity Disorder). Takových studentů v posledních letech výrazně přibývá a v literatuře se uvádí jejich prevalence na středních školách až 8 % (cit.<sup>10,11</sup>). Dále je však nutné poznamenat, že i pohled na laboratorní výuku prochází v posledních letech výrazným vývojem. Nemalou měrou se na tom podílejí změny nastavení společnosti, nové dostupné možnosti výuky a zároveň nové požadavky, které jsou na žáky, studenty či zaměstnance klade. Ačkoliv například vysoké školy zaměřené na chemii doporučují v bakalářských programech absolvování 300 až 400 hodin laboratorní praxe, stále více jsou otvírány otázky, co je hlavním cílem této praktické výuky. A jsou slyšet i hlasy, které laboratorní výuku nepovažují za tak důležitou a nahradily by ji v řadě případů výrazně levnějšími, méně časově náročnými, profesionálně připravenými audiovizuálními prostředky<sup>12</sup>. Z výše uvedeného jasně plyne, že pedagogové stojí před složitou volbou co nejpřínosnějších metod pro studenty, které ale zároveň nebudou neúměrně ekonomicky a časově zatěžující.

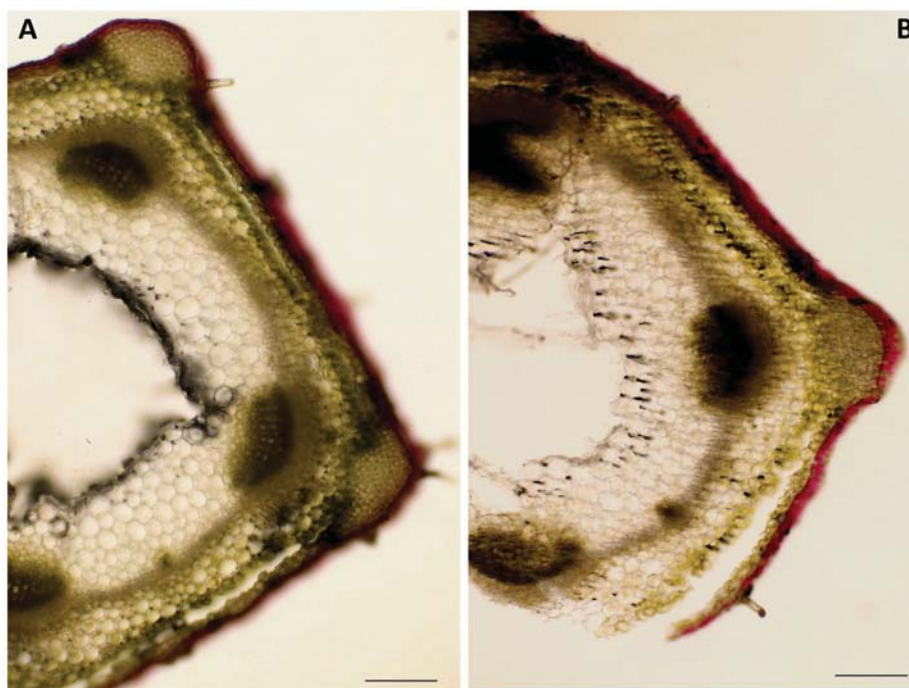
Následující článek si klade za cíl navrhnout několik aktivit propojujících praktickou laboratorní výuku s využitím mikroskopování s výukou teoretickou tak, aby splňovala současné standardy moderní výuky, a to včetně podpory všestranného a harmonického rozvoje zúčastněných studentů. Na příkladu jednoduchého, ale komplexního rostlinného preparátu, s použitím dvou základních druhů mikroskopie a jednoduchého barvení, autorky popisují postup, díky kterému student získá zevrubný přehled o základních morfologických znacích rostlin a maximální využitelnosti mikroskopu. Článek popisuje proces, kterým student během praktické výuky prochází, ukáže nástrahy, se kterými se většina studentů musí vypořádat a popíše přínosy, které studenti po úspěšném absolvování získají. Jednotlivé podkapitoly popisují situaci základního kursu biologie v prvním ročníku technicky zaměřené vysoké školy se standardní mikroskopickou výbavou. Některé informace však mohou posloužit i učitelům středoškolským, kteří realizují mikroskopie v rámci praktické výuky biologie. Autorky u čtenáře předpokládají teoretickou znalost popisovaných jevů a postupů a text je proto vysvětlovat nebude; podrobné informace může čtenář získat z odkazů, které jsou u jednotlivých postupů a jevů uvedeny.

## 2. Důležitost správné přípravy biologického rostlinného materiálu pro mikroskopii (rozvoj jemné motoriky, ověření teoretické znalosti materiálu)

Na počátku každého praktického cvičení je studentům poskytován teoretický úvod k preparátům, které budou pozorovat. V našem případě se bude jednat o pozorování stonku hluchavky bílé (*Lamium album* L.). Studenti se dozvědí, jaký má význam tato část pro rostlinu, z čeho sestává, jakým způsobem je nejlépe možné tuto část vizualizovat. Popřípadě i to, jak a kdy je možné tyto znalosti a přístupy využít ve výzkumu nebo v praxi, což vede k zapojení zejména levé hemisféry. Praktická část cvičení, kdy je zapojována pravá hemisféra, začíná přípravou vzorku. Studenti by již měli vědět, že největší buňky vzorku jsou velké kolem 50  $\mu\text{m}$ . Chtějí-li mít ideální příčný řez, měl by mít nejvýše dvojnásobnou tloušťku. Řez stonku mohou provádět buď ručně, žiletkou či skalpelem, anebo pomocí jednoduchého mikrotomu s možností nastavení tloušťky řezu od 25  $\mu\text{m}$ . Důležité je vést řez striktně kolmo k podélné ose stonku. Šikmý řez stonkem vede k tomu, že nelze rozeznat jednotlivé struktury ani při ideální tloušťce vzorku, jak je vidět na obr. 1B. Při této činnosti je nutná dobrá koordinace a bezchybná jemná motorika studenta. Nezřídka musí studenti přípravu vzorku několikrát opakovat, protože pohledem do mikroskopu zjistí, že vzorek je nevyhovující.

## 3. Výběr metody snímání, výběr zvětšení preparátu

Pro úspěšné poznávání světa mikroskopických rozměrů je nezbytné chápat princip mikroskopu a jeho možnosti, proto je ihned na počátku laboratorních cvičení zařazen rozsáhlejší teoretický úvod do optické mikroskopie, kde jsou studentům vysvětlovány základní pojmy jako například rozlišovací mez, numerická apertura, otvorový úhel objektivu, index lomu prostředí, hloubka ostrosti, pracovní vzdálenost objektivu, aberace objektivů, důležitost imerze, ale také některé fyzikální principy, které umožní tyto pojmy do větší hloubky pochopit. Uváděné detaily samozřejmě musí být vhodně přizpůsobeny konkrétnímu vzdělávacímu stupni, počínaje hlavně zdůrazněním základních principů mikroskopování zmiňovaných již na základních školách, přes pokročilejší koncepty vyučované na středních školách a konče detailním rozborem na vysokoškolské úrovni. Během praktických cvičení je potom názorně demonstrováno správné používání různých objektivů od nejmenšího zvětšení a numerické apertury (a tedy nejdelší pracovní vzdálenosti), použití kondenzoru, clon a ideální iluminace vzorku, ale třeba i použití dioptrické korekce na okuláru a možnost změny rozteče okulárů nebo jsou vysvětlovány popisky uvedené na objektivu. Studenti si pak sami zkoušejí, jak nastavení jednotlivých parametrů ovlivňuje výsledný obraz.



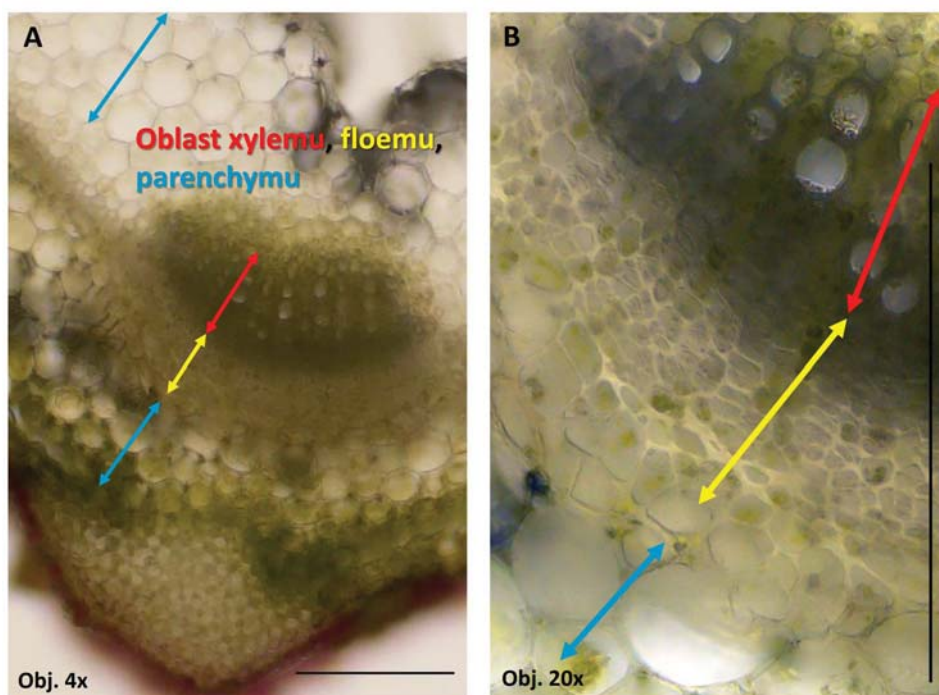
Obr. 1. Význam správné přípravy preparátů; Tenký a kolmo vedený řez (A) stonkem hluchavky bílé (*Lamium album* L.) odhalí potřebné detaily, oproti šikmému řezu (B), který byl veden pod jiným než 90° úhlem vůči podélné ose stonku. Snímáno objektivem UPlan FL N 4×/0,13. Délka měřítka v obou obrázcích odpovídá 200  $\mu\text{m}$ .

V laboratořích je k dispozici několik metod snímání, od klasického snímání ve světlém poli, přes snímání v poli tmavém nebo snímání pomocí fázového kontrastu až po základní použití fluorescenčního mikroskopu nebo binolupy. V této fázi seznamování studentů s mikroskopii jsou kladeny největší nároky na odbornost a erudici vyučujících, kteří by měli dát studentům základní povědomí o tom, na co který mikroskop využít. Například povrchové struktury rostlin (trichomy, reprodukční orgány) jsou často tak rozložitě, že je lze jen těžko mikroskopem pozorovat vcelku. Proto je pro ně výhodné použít přístroj s bodovým(i) osvětlením(i) shora a velkou hloubkou ostrosti (při malém zvětšení a nízké numerické apertuře). Tyto požadavky splňuje binolupa, která zobrazuje preparáty daleko více plasticky než mikroskop. Pro škrobová nebo pylová zrna můžeme zase s výhodou použít snímání v temném poli. Struktury rostlin, které obsahují lignin nebo chlorofyl, můžeme zobrazit pomocí fluorescenční mikroskopie<sup>13</sup>. Je samozřejmé, že vybavení dostupné pedagogům se značně liší, nejčastěji bývá k dispozici klasický optický mikroskop.

Studenti bez mikroskopických zkušeností mají někdy potíže odhadnout, jaké zvětšení je třeba pro konkrétní vzorek a účel použít, a to i v případě, že jsou výborně teoreticky připraveni. Mají často představu, že použití objektivu se zvětšením 4× je dostatečné, protože vidí mnohem více detailů než pouhým okem. Netuší však, že preparát skýtá podrobnosti ještě daleko více. Takovou situaci nejlépe vyřeší aktivní ukázka vyučujícího. Ostatně právě mož-

nost aktivní diskuse s vyučujícím během výuky je v současné době považována za jeden z důležitých pilířů správné pedagogické praxe<sup>14</sup>. V případech, kdy se student z jakéhokoli důvodu ostýchá pomoc vyučujícího přijmout, mohou být řešením například dvojjazyčná skripta: Atlas rostlinných preparátů pro laboratoře biologie/Atlas of plant samples for biology practical course, které je možné studentům poskytnout jako podpurný studijní materiál<sup>15</sup>. Publikace obsahuje fotografie celé řady preparátů, u jednotlivých obrázků je uvedeno použité zvětšení a důležité struktury uvnitř preparátu jsou podrobně popsány. Tyto informace mohou posloužit zároveň jako vhodné vstupní informace pro diskusi studentů v menších pracovních skupinách. Tato aktivní komunikace jak s vyučujícím, tak s ostatními studenty zároveň přispívá k osvojení správné odborné terminologie a schopnosti kolektivní spolupráce<sup>14</sup>.

V obrázku 2 si můžeme demonstrovat důležitost použití správného zvětšení. V případě, že bychom chtěli pozorovat pouze lokalizaci vodivých drah (xylem, floem) nebo parenchymu na příčném řezu stonkem hluchavky, opravdu nám stačí čtyřnásobně zvětšující objektiv, takže celkové zvětšení mikroskopu (i s příspěvkem desetinásobného zvětšení okuláru) je čtyřicetnásobné (obr. 2A). Jestliže ale budeme chtít pozorovat detail dvou druhů buněk ve floemové oblasti stonku, musíme využít objektiv se zvětšením dvacetinásobným (obr. 2B). Teprve pak vidíme velice zřetelně jednotlivé buňky.

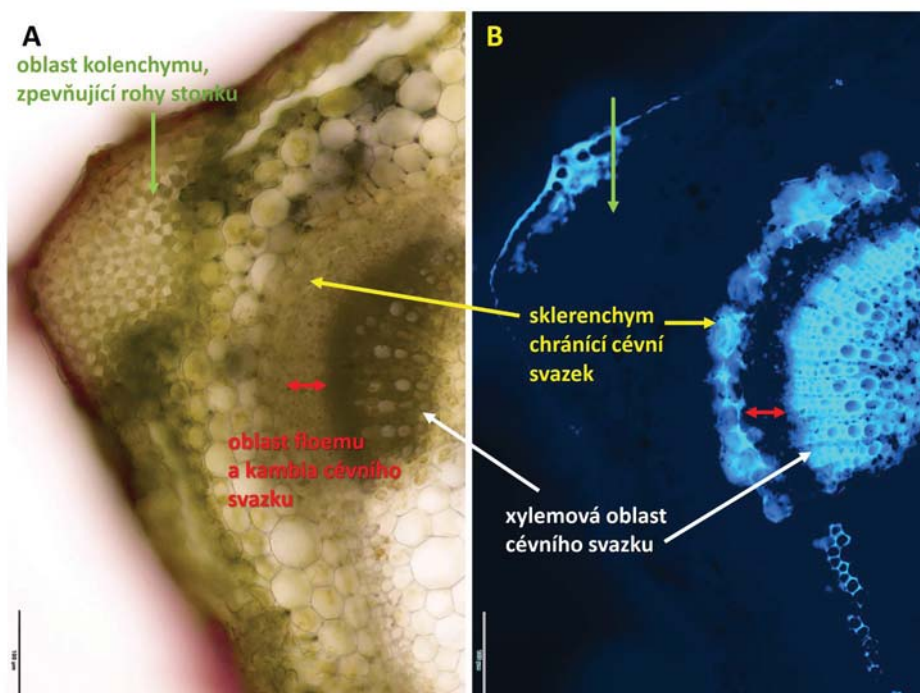


Obr. 2. Význam správného zvětšení preparátu; Příčný řez stonkem hluchavky bílé (*Lamium album* L.) odhalí potřebné detaily ve floemové oblasti (Žlutá šipka) pouze při celkovém dvousetnásobném zvětšení (B) objektivem UPlan FL 20×/0,5. Při čtyřicetnásobném zvětšení (A) objektivem UPlan FL N 4×/0,13 jednotlivé buňky floemu téměř neodlišíme. Délka měřítka v obou obrázcích odpovídá 200  $\mu\text{m}$ .

#### 4. Metody zvyšování kontrastu vzorku pro lepší zobrazení

Dalším úskalím, s nímž se mohou studenti při mikroskopování setkat, je kontrast vzorku. Jestliže připravíme preparát o tloušťce jedné nebo dvou buněk (cca 50–100  $\mu\text{m}$ ), je většinou průsvitný a bezbarvý. Výjimku tvoří preparát s přítomností barevných plastidů (chloroplasty, chromoplasty) nebo vakuol obsahujících anthokyanová barviva se škálou barev od červené do modré, podle přítomného pH. V ostatních případech jsme klasickým optickým mikroskopem schopni odlišit v preparátu pouze oblasti, které se od okolí dostatečně liší indexem lomu (např. buněčné stěny, jádra, jádérka). Pro zviditelnění struktur, u kterých se index lomu od okolí moc neliší, máme velkou řadu různě efektivních možností, jak kontrast zlepšit. Můžeme použít barviva, která se specificky vážou na některé struktury: Lugolův roztok se váže na škroby, Sudan III na lipidy, Janusova zeleň na mitochondrie, Auramin O na lipofilní povrch pylových zrn, methylenová modř na buněčné stěny a jádra<sup>16</sup>. Další metoda, která je schopna velice efektivně vizualizovat snad nejvíce buněčných struktur, je fluorescenční mikroskopie. Ta musí jít ruku v ruce s vhodnou přípravou vzorku; preparát můžeme označit některým specifickým barvivem (např. DAPI – dihydrochlorid-4',6-diamidino-2-fenylindol je schopen interkalovat do DNA a vizualizovat jádra). Můžeme také použít

fluorescenčně značené protilátky pro vizualizaci jakékoliv fixované buněčné struktury. Jestliže chceme vizualizovat struktury v buňkách živých nebo dokonce sledovat dynamiku specifických proteinů nebo struktur (tzv. live imaging), musíme pomoci molekulárně biologických přístupů do organismu vpravit DNA, která v živých buňkách potom slouží jako templát, podle kterého se syntetizuje fluorescenční protein (nejčastěji green fluorescent protein – GFP), připojený k námi vybranému proteinu nebo struktuře, kterou takto vizualizujeme. V omezené míře můžeme také použít fluorescenční barviva vázající se specificky na některé živé buněčné struktury. Avšak úplně nejjednodušším způsobem můžeme fluorescenční mikroskopii použít k vizualizaci struktur, které vykazují autofluorescenci neboli primární fluorescenci v preparátu přirozeně, to znamená, že vzorek nemusíme nijak před mikroskopii upravovat. Je pravda, že při použití běžných filtrů (emise vzorku při cca 450 nm – modrá, 520 nm – zelená a 600 nm – červená) u fluorescenčního mikroskopu můžeme takto zviditelnit prakticky jen struktury obsahující lignin (buňky vodivých drah xylému a zpevňující pletivo sklerenchym) nebo chlorofyl (chloroplasty), ale to pro ilustraci a seznámení se s prací s fluorescenčním mikroskopem stačí. Obrázek 3 ukazuje stejný vzorek stonku hluchavky zobrazený buď klasickým optickým mikroskopem v procházejícím světle (A) nebo fluorescenčním mikroskopem (B)<sup>13</sup>. Excitace světlem o vlnové délce 350 nm



Obr. 3. Význam různých mikroskopických technik při snímání preparátu; Příčný řez stonkem hluchavky bílé (*Lamium album* L.) zobrazený objektivem UPlan FL 10×/0,30 buď při procházejícím bílém světle (A) nebo fluorescenčně (B) s použitím excitačního záření o vlnové délce 350 nm a emisního záření o vlnové délce 460 nm (barva obrázku – 490 nm, kvůli názornosti neodpovídá zvolenému emisnímu filtru). Fluorescenční snímání zobrazí pouze stěny buněk, které obsahují lignin/suberin (B – bílá, žlutá šipka). Nejsou vidět oblasti floemu a kambia (červená šipka) ani oblast rohového kolenchymu (zelená šipka). Délka měřítka v obou obrázcích odpovídá 200 µm.

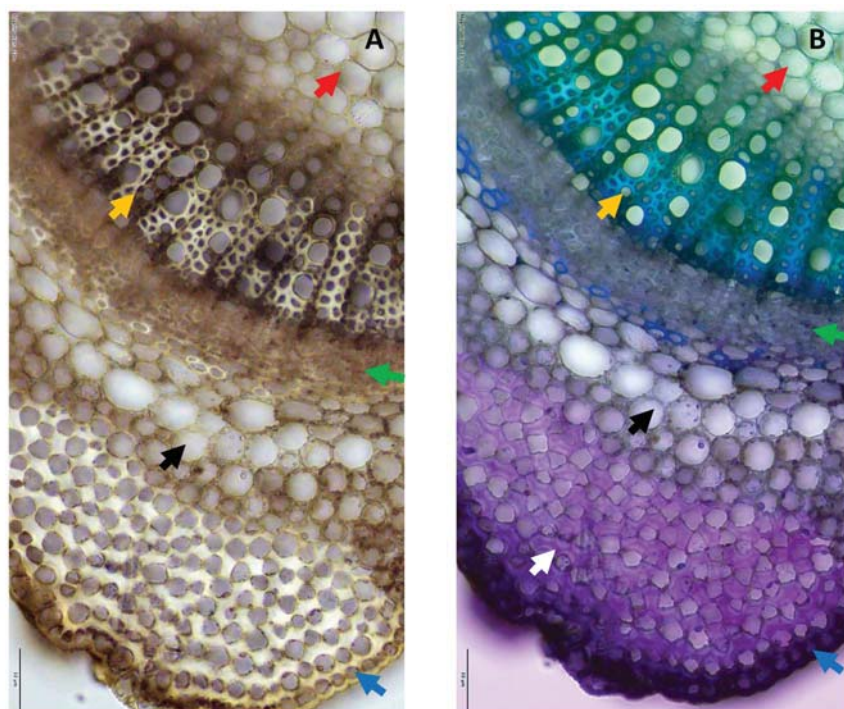
nám při fluorescenčním snímání umožní velmi dobře odlišit zpevňující buňky sklerenchymu, anebo průřez cévami vodivých drah (xylemová oblast), protože stěny těchto buněk obsahují lignin (ev. suberin), který emituje světlo o vlnové délce 460 nm (obr. 3B). Fluorescenční snímání ale nic jiného než oblasti obsahující lignin neodhalí, nezískáme žádnou představu o tom, jak jsou jednotlivá pletiva v příčném řezu stonku uspořádána. Naproti tomu v procházejícím světle vidíme všechna pletiva, ale třeba oblasti sklerenchymu chránící vodivá pletiva najde pouze mikroskopik teoreticky dobře připravený a velmi zkušený (obr. 3A, žlutá šipka ukazuje na sklerenchym).

V procházejícím světle můžeme přibližně odlišit pletiva vodivá, středový parenchym (obr. 4A, červená šipka), anebo kolenchym v rozích stonku (obr. 4A, dolní třetina obrázku) i bez použití barvení. Vhodné barvení nám však velice názorně ukáže přesné hranice jednotlivých oblastí a může nám dát i určitou informaci o chemickém složení zviditelněných struktur. 0,01–0,05% roztok toluidinové modři se používá k tzv. metachromatickému barvení, což je metoda, která je schopná tyrkysovou barvou zvýraznit oblasti obsahující lignin, což je především oblast xylemu (obr. 4A, B, žlutá šipka). Fialově se barví oblasti bohaté na pektiny (oblast střední lamely mezi dvěma buněčnými stěnami: obr. 4B, bílá šipka), obecně místa, kde se nachází v rostlinném organismu kolenchym (obr. 4B, fialově zbar-

vená oblast). Zároveň nám tak vynikne šedavě zbarvená oblast floemu ve vodivém svazku (obr. 4A, B, zelená šipka) nebo oblast středového (obr. 4A, B, červená šipka) a korového parenchymu (obr. 4A, B, černá šipka). Toluidinová modř také temně fialově zvýrazní jednu vrstvu, těsně na sebe nasedajících, epidermálních buněk na povrchu stonku (obr. 4A, B, modrá šipka). Tímto způsobem se studenti dozvědí velmi podrobné informace nejen o lokalizaci jednotlivých pletiv ve stonku hluchavky, ale i o chemickém složení buněčných stěn a v neposlední řadě o rozmanitých možnostech snímání a použití mikroskopu.

### 5. Vědecký náčrt, metody abstrakce komplexního obrazu a popis preparátu jako nástroj znázornění problematiky

Součástí náplně práce ve studentských laboratořích je i náčrt toho, co studenti v mikroskopu pozorovali. Mnozí studenti tuto kreativní část laboratoří z duše nemají rádi a pro sebe si zdůvodňují, že to musejí dělat, protože školní mikroskopy nejsou vybaveny kamerou nebo alespoň fotoaparát. To ovšem není pravda, protože správně abstrahovaný a popsany vědecký náčrt poskytne mnohem více informací, či řadu informací komplementárních, než běžná fotografie (obr. 5). Při provádění náčrtu se

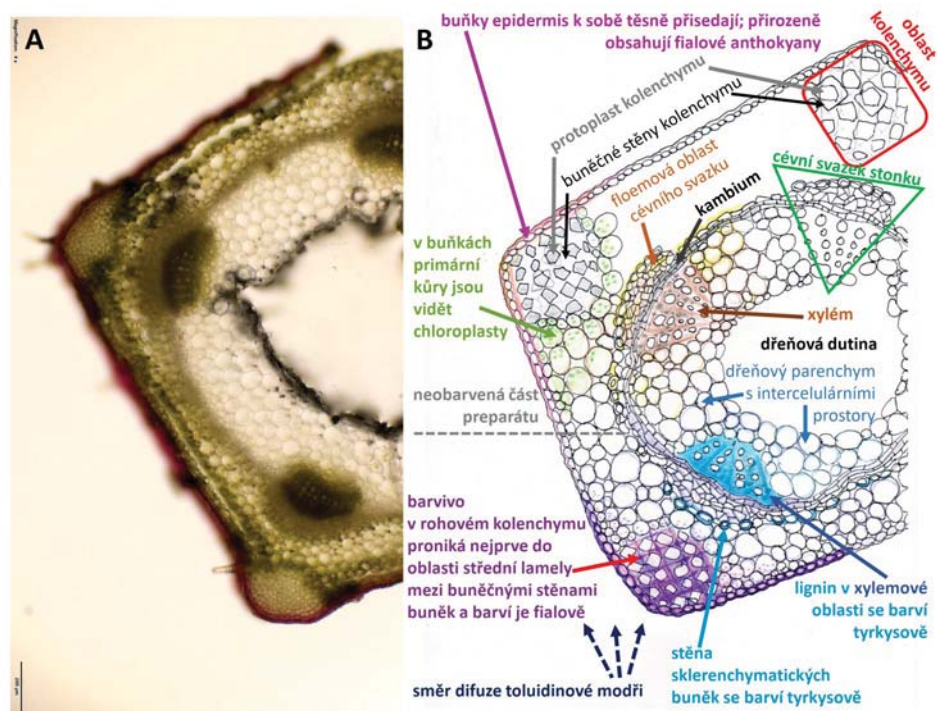


Obr. 4. Význam správně zvoleného barvení pro zvýšení kontrastu, ale i odhalení chemického složení pletiv; Příčný řez stonkem hluchavky bílé (*Lamium album* L.) zobrazený objektivem UPlan FL 20×/0,5 v procházejícím bílém světle bez barvení (A) nebo s metachromasií (B), po obarvení 0,01% roztokem toluidinové modři. Na obrázku B je fialově zbarvena oblast rohového kolenchymu (pektinové látky), tyrkysově (lignin), potom oblast xylemu ve vodivém svazku (žlutá šipka). Dále je označena jednobuněčná vrstva epidermis (modrá šipka), oblast obarvených středních lamel mezi buněčnými stěnami kolenchymatických buněk (bílá šipka), oblast korového (černá šipka) nebo středového (červená šipka) parenchymu. Délka měřítka v obou obrázcích odpovídá 50  $\mu\text{m}$ .

aktivizuje pravá hemisféra, přičemž studenti mohou konfrontovat svá zjištění s teoretickými znalostmi při aktivaci hemisféry levé. Zároveň je v takových případech vhodné umožnit studentům práci ve skupině, ve které by svoje nově nabyté poznatky mohli konzultovat a porovnat. Užitečnost dobře vypracovaného vědeckého nákresu lze demonstrovat prostřednictvím obr. 5. Obrázek 5B, vědecký nákres, vlastně obsahuje informace z téměř všech obrázků uvedených v tomto článku. Přehledový snímek příčného řezu stonku hluchavky je možné vyfotografovat pouze při čtyřicetnásobném zvětšení (obr. 5A), avšak tam nemůžeme pozorovat detailní tvar buněk floemu (obr. 2B, dvousetnásobné zvětšení) v cévním svazku nebo tvar buněk a buněčných stěn kolenchymu (obr. 4, dvousetnásobné zvětšení). Tyto detaily je však možné uvést na nákresu (obr. 5B), ačkoli i ten zobrazuje zorné pole a část stonku jako při čtyřicetnásobném zvětšení (obr. 5A). Ve vědeckém nákresu můžeme, na rozdíl od fotografie, upozornit na to, kterým jevům bychom měli věnovat pozornost: epidermální buňky jsou k sobě těsně přiložené, ale parenchymatické buňky mají mezibuněčné prostory (obr. 5B). V nákresu je možné poměrně jednoduše vysvětlit jevy, které by byly jinak těžko představitelné nebo vysvětlitelné: rozdílná barva střední lamely a buněčných stěn kolenchymu (fialová) nebo buněčných stěn sklerenchymu

(tyrkysová) v průběhu metachromatického barvení (obr. 5B vs. obr. 4B). Uvážíme-li například, že každý vnímá barvy úplně jinak, může při slovním popisu velmi lehce dojít ke zmatení pojmů; stejně jako slovní popis lokalizace střední lamely v pletivu rostliny může velice záhy narazit na limitovanou prostorovou představivost i potřebné základní znalosti čtenáře z oblasti mikroskopické morfologie; avšak v nákresu tuto strukturu lokalizujeme zcela jednoznačně. Správně provedený vědecký nákres tak jen potvrzuje rčení: „Jeden obrázek vydá za tisíc slov“, a to studenti i pedagogové zvláště ocení<sup>17</sup>.

Funguje to ale i naopak, pomocí studentova nákresu může pedagog lehce zjistit míru toho, jak student daný jev pochopil, ať už při běžné výuce nebo během testování znalostí. Navíc si student při provádění nákresu procvičuje schopnost abstrahovat důležité struktury ze složitého obrazu, který vidí v mikroskopu. Například nákres rohového kolenchymu u hluchavky je dost složitý, zvolí-li však student správnou techniku a v oblasti, kde má být kolenchym lokalizován, si načrtne čtvercovou síť, je „polovina práce hotova“ (v obr. 5B je čtvercová síť patrná u fialově zbarveného kolenchymu). Jestliže si pak pole představíme jako šachovnici a každé „černé“ políčko opatříme křížem, který vychází z rohů pole, získáme poměrně přesný nákres protoplastů kolenchymu s nepravidelně ztloustlými buněčnými-



Obr. 5. Porovnání informační hodnoty mikrofotografie a vědeckého nákresu; Příčný řez stonkem hluchavky bílé (*Lamium album* L.) zobrazený objektivem UPlan FL N 4×/0,13 v procházejícím bílém světle bez barvení (A) nebo odborný nákres s podrobným popisem pozorovaných jevů (B). Na obrázku B je horní část preparátu znázorněna bez barvení a dolní část zachycuje podobu preparátu po obarvení 0,1% toluidinovou modří. Délka měřítka v obrázku A odpovídá 200  $\mu\text{m}$ .

mi stěnami. Student se také musí vypořádat se zachováním velikostních poměrů u struktur, které jsou součástí nějakého většího celku nebo komplexního preparátu. Navíc proces samotného kreslení u studentů zapojuje jiná centra mozku, než pokud by si o dané problematice pouze četli. Lze tedy předpokládat, že si studenti danou látku lépe a déle zapamatují<sup>18</sup>.

## 6. Závěr

Předložený text se pokouší ukázat užitečnost mikroskopie pro výuku přírodních věd prostřednictvím aktivit vedoucích k zapojení a kooperaci levé a pravé mozkové hemisféry. Článek dále prezentuje několik aktivit tvořících laboratorní cvičení, v jehož rámci je vhodně připraven vzorek pro mikroskopické pozorování, jsou vysvětleny a názorně předvedeny či popsány různé mikroskopické techniky a v závěru vytvořen odborný nákres. Takto koncipované cvičení může být využito jako účinný nástroj pro harmonický rozvoj studentů v laboratorní výuce. Krok za krokem a s využitím názorných mikrofotografií a nákresu článek odhaluje procesy a nástrahy, kterými student v průběhu realizace prezentovaných aktivit a technik prochází. Díky koncepci laboratorního cvičení, mikroskopie a uvedené techniky nejen prohlubují znalosti o struktuře a funkci rostlinných tkání, ale také podporují rozvoj jemné moto-

riky a propojení levé a pravé mozkové hemisféry. Praktická cvičení umožňují studentům získat hluboké teoretické i praktické dovednosti a zároveň posilují kreativní a analytické schopnosti<sup>14</sup>. Odborný nákres jako klíčová část výuky přispívá k pochopení složitých biologických struktur a vytváří most mezi vizuálním vnímáním a vědeckou abstrakcí. Tyto metody mají pozitivní vliv nejen na vzdělávání, ale i na rozvoj kognitivních schopností studentů. Důležitost praktické výuky zůstává navzdory novým technologiím a audiovizuálním prostředkům nezastupitelná, protože poskytuje studentům neocenitelný prostor pro aktivní učení a rozvoj osobnosti na více úrovních.

## LITERATURA

1. Sperry R. W.: *Am. Psychol.* 23, 723 (1968).
2. Bornehag C. G., Engdahl E., Unenge Hallerbäck M. U., Wikström S., Lindh C., Rüegg J., Tanner E., Genings C.: *Environ. Int.* 150, 106433 (2021).
3. Colborn T., vom Saal F. S., Soto A. M.: *Environ. Health Perspect.* 101, 378 (1993).
4. Han K., Tang Z., Bai Z., Su W., Zhang H.: *Front. Aging Neurosci.* 14, 878025 (2022).
5. Lee H. J., Lee M., Park H., Park J. H., Park K. W.: *Dement. Neurocogn. Disord.* 18, 122 (2019).
6. Corballis M. C.: *PLoS Biol.* 12, e1001767 (2014).

7. Eccher M., v knize: *Encyclopedia of the Neurological Sciences* (Aminoff M. J., Daroff R. B., ed.), str. 867, 2. vyd. Academic Press, San Diego 2014.
8. Výroční zpráva České školní inspekce 2022/2023, str. 244: [https://www.csicr.cz/CSICR/media/Elektronicke-publikace/2023/Vyrocní\\_zprava\\_CSI\\_2022\\_2023/html5/index.html?pn=247](https://www.csicr.cz/CSICR/media/Elektronicke-publikace/2023/Vyrocní_zprava_CSI_2022_2023/html5/index.html?pn=247), staženo 5. 6. 2024.
9. Dokumenty k učitelským praxím: <https://www.ped.muni.cz/pedagogika/praxe/ucitelske-praxe/tandemova-vyuka>, staženo 5. 6. 2024.
10. Osborn M.: *Academic and behavioral strategies for students with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. Dissertation.* California State University San Marcos, San Marcos 2013.
11. Burghardt W.: Capstone Project EDTE490W, California State University Chico 2022, <https://scholarworks.calstate.edu/downloads/1544bv538>, staženo 5. 6. 2024.
12. Seery M. K.: *J. Chem. Educ.* 97, 1511 (2020).
13. Davidson M. W., Abramowitz M., v knize: *Encyclopedia of Imaging Science and Technology* (Hornak J., ed.), Vol. 2, str. 1106. Wiley Online Library, 2002.
14. Oliveira H., Bonito J.: *Front. Educ.* 8, 1151641 (2023).
15. Angelini J.: *Atlas rostlinných preparátů pro laboratoře biologie /Atlas of plant samples for biology practical course.* VŠCHT Praha, Praha 2023.
16. Stadelmann E. J., Kinzel H., v knize: *Methods Cell Biol.* (Prescott D. M., ed.) Vol. 5, kap. 10, str. 325. Academic Press, San Diego 1972.
17. Nugraha I.: *J. Phys.: Conf. Ser.* 1013, 012016 (2018).
18. Quillin K., Thomas S.: *CBE Life Sci. Educ.* 14, es2 (2015).

**J. Angelini and E. Benešová** (*Department of Biochemistry and Microbiology, University of Chemistry and Technology, Prague, Czech Republic*): **Microscopy of Simple Slides and Expert Drawing as a Unique Tool for Harmonious Development of Students in Laboratory Teaching**

Microscopy is an important tool in the teaching of biology, chemistry and related sciences at various levels of school education, as it allows the use of visual experience to understand basic natural structures, phenomena and principles. The text presented here attempts to outline the different parts of the process that students should go through during a lesson involving practical demonstrations of microscopy, and to explain the specific benefits of each activity in the wider context of various learning skills with implications for everyday life. At the same time, the text aims to inspire educators to expose their students to the world of natural science and spark their interest in studying these disciplines, without the need of expensive instrumentation.


Keywords: practical microscopy, interconnection of hemispheres, optical microscopy, specialized (scientific) drawing, collenchyma, xylem



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.

Rádi bychom Vás informovali o prvním ročníku literární soutěže s názvem Příběhy ze zkumavek, který pořádá Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Cílem této soutěže je podpořit zájem široké veřejnosti o chemii, a to nejen jako o vědecký obor, ale také jako o součást našeho každodenního života. Věříme, že propojení chemie s literaturou může pomoci vidět tento obor v širších souvislostech a uvědomit si jeho význam v různých oblastech lidských aktivit, jakými jsou například medicína, péče o životní prostředí, potravinářství průmysl, kriminalistika, výzkum vesmíru a mnoho dalších.

Podrobné informace o soutěži naleznete na webových stránkách Příběhy ze zkumavek – Fakulta potravinářské a biochemické technologie (<https://fpbt.vscht.cz/79398>), případně se obraťte na organizátory na e-mailu [pribehyzezkumavek@vscht.cz](mailto:pribehyzezkumavek@vscht.cz).

 VYSOKÁ ŠKOLA  
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ  
V PRAZE


# Příběhy ze zkumavek

Máš hlavu plnou nápadů?  
Baví tě psaní?  
Pak je tu pro Tebe naše soutěž:

**Napiš nám o tom  
hororový příběh,  
romantickou báseň či  
hlubokomyslnou úvahu  
a zapoj se do soutěže.  
Každý nápad je vítán.**

Chemie je všude kolem nás.  
V jídle, které jíme, v lécích,  
které nás zachraňují, i ve  
virech a bakteriích, které nás  
ohrožují. Chemii potřebujeme  
k životu a chemie je  
zároveň klíčem k pochopení  
zákonitostí našeho života.

Hlavním mottem Tvého díla musí být chemie.  
Soutěžní příspěvek pošli na adresu [pribehyzezkumavek@vscht.cz](mailto:pribehyzezkumavek@vscht.cz)  
nejpozději do 30. dubna 2025.  
Registrační formulář a podrobná pravidla soutěže najdeš na  
[fpbt.vscht.cz/79398](https://fpbt.vscht.cz/79398)



# ZALOŽTE SI VÝZKUMNOU SKUPINU

díky tříletému start-up grantu  
ve výši 2 mil. Kč ročně

Vrátili jste se ze zahraniční stáže, máte  
maximálně 7 let od ukončení Ph.D. studia  
a projekt v oboru organické, bioorganické  
nebo medicínské chemie?

Přihlaste se  
do 15. 3. 2025

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



experientia  
NADACE

# VYCESTUJTE NA ZAHRANIČNÍ STÁŽ

12 měsíců na prestižní univerzitě  
dle vlastního výběru

Máte Ph.D. a projekt v oboru organické,  
bioorganické nebo medicínské chemie  
a je vám méně než 35 let?

Přihlaste se  
do 15. 3. 2025

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



experientia  
NADACE

---

**OBSAH****ÚVODNÍK**

- Kde je brát? Krvinky pro novou krev chemického výzkumu, průmyslu i vzdělávání** 77  
K. Stejskalová

**REFERÁTY**

- Povídání o mýdle** 78  
J. Novák a P. Štěpánek  
**Expozícia dojčiat mikroplastom** 87  
Cs. Mišľanová a M. Valachovičová  
**Zničení chemických zbraní dokončeno** 97  
O. J. Mika

**PŮVODNÍ A METODICKÉ PRÁCE**

- (Re)mineralizace pitné vody kalcitem nebo dolomitem** 105  
V. Janda, M. Šváb a O. Šrāček  
**Využitie antimykotík vo farmakoterapii onychomykóz a pridružených dermatomykóz** 109  
Z. Malinovská, L. Jendrálová, E. Čonková, P. Váczi a M. Čižmāriková

**VÝUKA CHEMIE**

- Mikroskopie jednoduchých preparátů a odborný nákres jako unikátní nástroj harmonického rozvoje studentů v laboratorní výuce** 117  
J. Angelini a E. Benešová

---

**CONTENTS****EDITORIAL**

- Were to Recruit Them? Blood Cells for New Blood of Chemical Research, Industry, and Education** 77  
K. Stejskalová

**REVIEW ARTICLES**

- A Tale of Soap** 78  
J. Novák and P. Štěpánek  
**Exposure of Infants to Microplastics** 87  
Cs. Mišľanová and M. Valachovičová  
**Chemical Weapons Destruction Completed** 97  
O. J. Mika

**ORIGINAL AND METHODOICAL PAPERS**

- (Re)Mineralization of Drinking Water with Calcite or Dolomite** 105  
V. Janda, M. Šváb, and O. Šrāček  
**The Use of Antifungals in the Pharmacotherapy of Onychomycoses and Associated Dermatomycoses** 109  
Z. Malinovská, L. Jendrálová, E. Čonková, P. Váczi, and M. Čižmāriková

**EDUCATION IN CHEMISTRY**

- Microscopy of Simple Slides and Expert Drawing as a Unique Tool for Harmonious Development of Students in Laboratory Teaching** 117  
J. Angelini and E. Benešová



**14.–16. dubna 2025**  
Hotel Galant, Mikulov

## 12. mezinárodní chemicko-technologická konference

**DEKARBONIZACE ENERGETICKY NÁROČNÝCH ODVĚTVÍ - GREEN DEAL,**

- Dekarbonizace - konverze a skladování energií, zachytávání uhlíku a jeho použití
- Inovativní způsoby výroby vodíku s využitím obnovitelných a udržitelných zdrojů energie
- Oběhové hospodářství

**ORGANICKÁ TECHNOLOGIE, PETROCHEMIE, APLIKOVANÁ KATALÝZA A ORGANICKÁ TECHNOLOGIE**

- Ropa, plyn, uhlí – alternativní suroviny, nové technologie, biorafinerie, paliva, biopaliva
- Petrochemie a organická technologie – alternativní suroviny, nové technologie, nové a rozhodující produkty včetně výroby polymerů
- Aplikovaná katalýza a organická technologie

**BIOTECHNOLOGIE, TECHNOLOGIE CHEMICKÝCH SPECIALIT**

- Biotechnologie a biorafinace
- Syntéza a výroba léčiv
- Polymery, kompozity

**NOVÉ MATERIÁLY, ZDROJE ENERGIE, VODÍKOVÁ STRATEGIE, POKROČILÉ PROCESY A APARÁTY, TECHNOLOGIE PRO OCHRANU PROSTŘEDÍ**

- Anorganická technologie
- Materiálové inženýrství (včetně moderních kovových biomateriálů pro lékařské účely)
- Procesní inženýrství
- Technologie pro ochranu prostředí

**EKONOMIKA CHEMICKÉHO PRŮMYSLU**

- Ekonomika chemického průmyslu v nových podmínkách

**Registrace, formulář k zaslání abstrakt a další informace od října 2024 na [www.icct.cz](http://www.icct.cz).**



**CHEMICKÉ LISTY • ročník/volume 119 (2025), čís./no. 2 • LISTY CHEMICKÉ, roč./vol. 149, ČASOPIS PRO PRŮMYSL CHEMICKÝ, roč./vol. 135 • ISSN 0009-2770, ISSN 1213-7103 (e-verze) • evidenční číslo MK ČR E 321 • Vydává Česká společnost chemická jako časopis Asociace českých chemických společností ve spolupráci s VŠCHT Praha, s ČSPCH a ÚOCHB AV ČR za finanční podpory Rady vědeckých společností ČR, Akademie věd ČR, Nadace Český literární fond a kolektivních členů ČSCH • IČO 444715 • Published by the Czech Chemical Society • VEDOUCÍ REDAKTOR/EDITOR-IN-CHIEF: V. Vyskočil • REDAKTORI/EDITORS: J. Barek, E. Benešová, P. Drašar, P. Holý, P. Chuchvalec, M. Jurášek, Z. Kolská, B. Kratochvíl, J. Masák, J. Podešva, P. Šmejkal; Bulletin: P. Drašar; Webové stránky: R. Liboska, V. Vyskočil • ZAHŘANIČNÍ A OBLASTNÍ REDAKTORI/FOREIGN AND REGIONAL EDITORS: F. Švec (USA, ČR) • TECHNICKÁ REDAKTORKA/EDITORIAL ASSISTANT: R. Řápková • REDAKČNÍ RADA/ADVISORY BOARD: K. Bláha, L. Červený, E. Dibuszová, L. Grubhoffer, J. Hanika, Z. Havlas, M. Hof, Z. Hostomský, J. Káš, M. Koman, P. Konvalinka, J. Kotek, J. Koubek, J. Málek, P. Matějka, K. Melzoch, V. Pačes, M. Pospíšil, V. Růžička, P. Slaviček, J. Zima, T. Zima • ADRESA PRO ZASÍLÁNÍ PŘÍSPĚVKŮ/MANUSCRIPTS IN CZECH, SLOVAK OR ENGLISH CAN BE SENT TO: Chemické listy, Novotného Lávkva 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 lávkva 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 2025 (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 zasílány zdarma všem individuálním a kolektivním členům ČSCH a ČSPCH v ČR i zahraničí, do všech relevantních knihoven v ČR a významným představitelům české chemie a chemického průmyslu; v rámci dohod o spolupráci i členům dalších odborných společností • Molekulární námět na obálce (Metachromatická fantazie uvnitř stonku hluchavky. Příčný řez stonkem hluchavky po obarvení toluidinovou modří, zvětšeno 200×. Původní barvy jsou upraveny. Podrobnosti k obrázku i preparátu hledejte v článku Angelini J., Benešová E.: Chem. Listy 119, 117 (2025)); Foto: J. Angelini • Dáno do tisku 27.1.2025.**



**IOCB PRAGUE**

Institute of Organic Chemistry and Biochemistry  
Czech Academy of Sciences

Podcast ÚOCHB  
**CHEmic**

O životě vědců a vědkyň  
nejen v laboratoři

Poslouchejte  
v podcastových aplikacích



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



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



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

# cell counting intelligence

## The Scepter™ 3.0 Automated Handheld Cell Counter

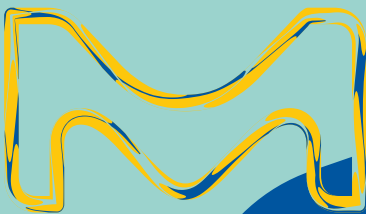
Upgrade your tissue culture room by getting accurate cell counts quickly, and recording results digitally. Our Scepter™ 3.0 handheld cell counter combines smart capabilities with the Coulter impedance principal to hand you precise, consistent counts in seconds.



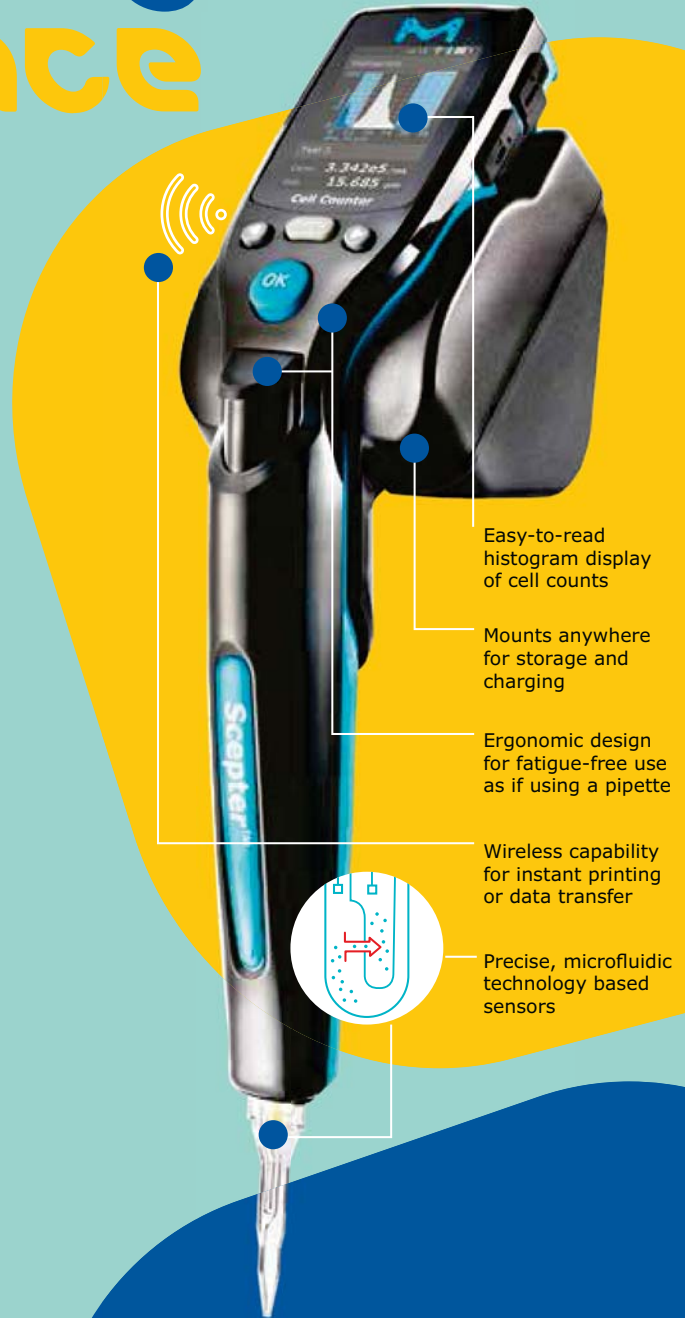
Accuracy you can count on, smarter than ever.



[SigmaAldrich.com/Scepter](http://SigmaAldrich.com/Scepter)



The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the U.S. and Canada.



**Millipore®**

Preparation, Separation, Filtration & Monitoring Products