

POSOUZENÍ RIZIK MOŽNÉHO ÚRAZU PŘI PROVÁDĚNÍ ŠKOLNÍCH CHEMICKÝCH POKUSŮ S PODPOROU DATABÁZE BEZPEČNÝCH A DIDAKTICKY OVĚŘENÝCH POSTUPŮ e-BEDOX

PETR A. SKŘEHOT^{a,b}, MARTIN BÍLEK^a, PAVEL BENEŠ^a, MARTIN RUSEK^a,
KATEŘINA CHROUSTOVÁ^a, JAKUB MAREK^{b,c}, ZDENĚK HON^c a MARCELA SKŘEHOTOVÁ^{a,b,d}

^a Pedagogická fakulta, Univerzita Karlova, Magdalény Rettigové 4, 116 39 Praha 1, ^b Znalecký ústav bezpečnosti a ochrany zdraví, z.ú., Ostrovského 3, 150 00 Praha 5, ^c Fakulta biomedicínského inženýrství, České vysoké učení technické v Praze, nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno, ^d Vysoká škola chemicko-technologická, Oddělení bezpečnosti a prevence rizik, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika
martin.bilek@pedf.cuni.cz

Došlo 2.9.21, přepracováno 28.6.23, přijato 5.10.23.

Vzhledem k významu využívání experimentu, resp. pokusu, jako zdroje poznání v chemii a její výuce, je nutné zvažovat i rizika jeho realizace. V textu jsou prezentovány postupy a výsledky provedeného posouzení rizik u vybraných 101 chemických pokusů, které jsou využívány jak ve školní praxi základních škol včetně jejich zařazení do používaných učebnic, tak i v rámci volnočasových aktivit. Vlastní posouzení rizik těchto chemických pokusů bylo provedeno pomocí Ishikawova diagramu, nazývaného též diagram příčin a následků, s cílem poukázat na možná nebezpečí, která jsou s jejich prováděním spojena. V návaznosti na identifikovaná rizika byly evaluovány stávající návody ke všem vybraným pokusům a doplněny nové informace a bezpečnostní pokyny nezbytné pro splnění požadavků na bezpečné a didakticky ověřené postupy dle normy ČSN 01 8003. Jelikož se ve zpracovaných pokusech vyskytují chemické látky prakticky všech tříd nebezpečnosti, je velmi důležité, aby při jejich používání ve školách byla zohledněna všechna reálně hrozící rizika. Celý soubor vytvořených materiálů byl včetně originálně zhotovených videozáznamů zpracován do elektronické databáze e-BEDOX, která je dostupná na webové stránce <https://ebedox.cz>.

Klíčová slova: školní chemický experiment, výuka chemie, nebezpečné chemické látky, posouzení rizik, Ishikawův diagram, e-Bedox

1. Úvod

Významným zdrojem poznání v chemii, a tím i v její výuce, je experiment, resp. školní chemický pokus. Nedílnou součástí každého experimentu či pokusu je také prvek nejistoty, resp. riziko neúspěchu. Neúspěch ale může znamenat nehodu s následky na zdraví nebo v podobě materiálních škod. Realizace školních chemických pokusů je tak úzce vázána na požadavek zajistit bezpečnost a ochranu zdraví všech přítomných osob, tj. jak žáka, tak i učitele. Jak známo, tuto problematiku v českém prostředí komplexně neřeší žádný právní předpis, resp. dílčí požadavky spojené s touto agendou jsou rozesety do mnoha předpisů a norem. Výuka chemie se tak často potýká s kardinální otázkou, jak se s tímto úskalím v praxi vypořádat. Účelem tohoto sdělení není podání přehledu všech dotčených předpisů ani jejich diskuse, neboť této problematice se autorův tým věnoval již ve svých předchozích pracích⁽¹⁻⁴⁾. Smyslem článku je prezentovat výsledky provedeného posouzení rizik u vybraných 101 chemických pokusů uvedených v učebnicích chemie pro základní školy, které jsou

hojně využívány jak ve výuce na základních školách, tak i v rámci volnočasových aktivit, jakými jsou chemické kroužky, dětské tábory nebo popularizační akce pro veřejnost, a poukázat na možná nebezpečí, která jsou s jejich prováděním spojena. V návaznosti na tato zjištění byly evaluovány stávající návody k těmto pokusům a v potřebné míře též doplněny o nové informace a bezpečnostní pokyny nezbytné pro splnění požadavků na bezpečné a didakticky ověřené postupy dle normy ČSN 01 8003 (cit.¹³). Následně byla vytvořena elektronická databáze těchto postupů e-BEDOX, která je dostupná na webové stránce <https://ebedox.cz>.

2. Problém zajištění bezpečnosti při realizaci školních chemických pokusů

Ve světle neustále probíhajících změn legislativy je na místě upozornit na poměrně zásadní a dodnes značně opomíjenou novinku, kterou přinesla novela školského zákona (zákon č. 561/2004 Sb.⁷) v podobě zákona

č. 284/2020 Sb.⁸ S účinností od 1. 10. 2020 byl do tohoto předpisu vložen text, který byl, paradoxně, v roce 2015 vypuštěn ze zákona č. 258/2000 Sb.⁹ o ochraně veřejného zdraví. Konkrétně se jedná o § 29 odstavec 4, písmeno a), jehož znění je následující: *Žáci mohou při vzdělávání a poskytování školských služeb ve školách a školských zařízeních a s ním přímo souvisejících činnostech nakládat s nebezpečnými chemickými látkami nebo směsmi klasifikovanými jako vysoce toxické, které jsou stanoveny prováděcím právním předpisem, pouze pod dohledem osoby s odbornou způsobilostí podle zákona upravujícího ochranu veřejného zdraví vykonávaným způsobem stanoveným prováděcím právním předpisem.* Jelikož se ale toto ustanovení v řadě detailů odchyluje od ustálené praxe, resp. od ustanovení jiných právních předpisů (např. nařízení vlády č. 361/2007 Sb.¹⁰ nebo vyhlášky č. 61/2018 Sb.¹¹), stalo se legislativní pojetí problematiky bezpečnosti a ochrany zdraví při výuce chemie ve školách již definitivně zcela nepřehledným, a tudíž v praxi jen těžko uchopitelným. V přímém kontrastu s tím ovšem stojí povinnosti pedagogických pracovníků. Ty jsou blíže vymezeny v § 22b školského zákona⁷, přičemž jedna z nich uvádí, že *pedagogičtí pracovníci jsou povinni chránit bezpečí a zdraví dítěte, žáka a studenta a druhá, že pedagogičtí pracovníci jsou svým přístupem k výchově a vzdělávání povinni vytvářet pozitivní a bezpečné klima ve školním prostředí a podporovat jeho rozvoj*⁸. Ač si to zřejmě jen málokdo uvědomuje, použitý pojem „chránit“ poměrně jasně vymezuje, kdo je za zajišťování bezpečnosti a ochrany zdraví žáků během výuky fakticky zodpovědný. Nejedná se o školu coby právní subjekt (ta nese „pouze“ břímě případného finančního odškodnění zraněného žáka), nýbrž o učitele. Má-li ovšem učitel dostát uvedeným povinnostem, musí disponovat nejen potřebnými odbornými znalostmi, ale také odpovídajícími pedagogickými zkušenostmi i osobnostními předpoklady potřebnými k tomu, aby možná rizika včas rozpoznal, resp. dokázal přijmout proti jejich působení vhodná bezpečnostní opatření. Ve výuce chemie jsme tak v současnosti, zejména na základních školách, svědky toho, že zpříšňování legislativních požadavků na úseku bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (dále jen „BOZP“) ve skutečnosti nevede ke zlepšování úrovně zabezpečení výuky, nýbrž naopak k jejímu postupnému omezování a rušení odborných učeben a skladů chemikálií. Někteří vyučující, jež působí především na menších základních školách, často nemají chemii ani ve své aprobaci, a tak se vlastně ani nelze divit jejich obavě z právních důsledků případné nehody. V současnosti si proto stále častěji klademe otázku, jak se bude tato situace vyvíjet dál, resp., zda může být výuka chemie bez experimentování smysluplná a do budoucna udržitelná¹².

Pro účely praktické výuky nebo přípravy žáků na budoucí povolání mohou být laboratorní činnosti prováděny pouze podle bezpečného a didakticky ověřeného pracovního postupu (viz čl. 12.7 normy ČSN 01 8003: 2017 ve znění změny Z1 z roku 2021)¹³. Tato povinnost musí být dodržena nejen při provádění školních chemických pokusů, ale také při všech obdobných aktivitách (např.

chemické kroužky, tábory či veřejné prezentace), kterých se účastní zejména děti nebo mladiství. Bezpečný způsob nakládání s chemickými látkami a směsmi ve všeobecné rovině předpokládá, že při jeho dodržení by nemělo docházet k ohrožení života a zdraví jak osob, které danou činnost provádějí (experimentátoři), tak ani osob přihlížejících. Ačkoli riziko úrazu v praxi nelze zcela vyloučit, vhodnými bezpečnostními opatřeními ho ale můžeme snížit na rozumně přijatelnou úroveň. Klíčové ovšem je dodržet zásadu, že při jakémkoli nakládání s chemickými látkami nesmíme rezignovat na zodpovědný přístup. V BOZP totiž více než kde jinde platí, že *„co se může stát, to se také jednoho dne stane.“* Bohužel, o platnosti tohoto moudra nás i v chemii opakovaně utvrzují případy těžkých zranění, k nimž došlo právě v důsledku podcenění či bagatelizování rizik. Ne nadarmo se říká, že dobrý chemik se nepozná podle toho, že předvádí efektní pokusy, při nichž to bouchá, prská nebo čadí, ani podle toho, že pije z kádinky a nosí potrhaný plášť po vzoru profesora Orfanika z filmu Tajemství hradu v Karpatech. Dobrý chemik je naopak ten, kdo k chemii chová přirozený respekt a má dostatek znalostí a zkušeností, aby dokázal rozpoznat možná nebezpečí. Mnohé mediálně známé případy (viz např. cit.^{1,5,6}) ale ukazují, že do chemického experimentování se nezřídka pouštějí i lidé, kteří toho o chemii mnoho neví a samotné chemické pokusy berou pouze jako vtipnou zábavu. Pro účely výuky má ale chemický pokus mnohem důležitější význam. Jeho hlavním smyslem totiž je, aby žák získal anebo si prohloubil požadované znalosti (vědomosti, dovednosti a postoje) a současně také nabyl jedinečné zkušenosti pramenící z osobního prožitku. Samotný experiment by tak měl být volen s přihlédnutím k výukovému cíli vycházejícímu z tématu, k němuž se má jím prezentovaný chemický či fyzikální děj vztahovat. Zjednodušeně řečeno, školní chemický pokus nemá tvořit jen zábavnou vložku v hodinách chemie, nýbrž má být účelovým prvkem výuky poskytujícím žáku praktickou ukázkou určitého přírodního děje či jevu při současném vtažení žáka do probíraného tématu. I v současnosti tak školní pokus představuje osvědčený nástroj naplňující Komenského radu mířenou k žákům: *„Nevěřte všemu, co se vám k věření předkládá: Zkoumejte vše a přesvědčujte se o všem sami“* (viz Lunární kalendář, op. cit., s. 15)¹⁴.

V rámci školních anebo obdobných edukačních (a řádně organizovaných) aktivit se naštěstí lze povětšinou spolehnout na kvalifikaci učitele chemie či odborného lektora, avšak tuto jistotu rozhodně nelze mít, pokud jde o kvalitu návodů, které tito lidé k tomuto účelu používají. V dnešní době je mnoho návodů k dispozici na internetu (např. na serveru YouTube), což ale může být problematické, neboť zejména začínající učitelé či lektori bez větších zkušeností nedokážou relevantně posoudit jejich obsahovou správnost a související bezpečnostní aspekty. Po dlouhá léta byly pro výuku chemie na základních a středních školách využívány klasické učebnice, které byly lektorovány a opatřeny doložkou ministerstva školství, což byla právě ona garance obsahové správnosti. Z české produkce učebnic chemie pro základní školy, vydaných

v uplynulých třiceti letech, lze zmínit například produkty následujících nakladatelství a autorských kolektivů:

- A. Fortuna (Beneš, Pumpr, Banýr^{15–22}).
- B. Fraus (Škoda, Doulík^{23–26}; Šmídl, Pelikánová^{27,28}; Škoda, Doulík, Šmídl^{29,30}).
- C. Scientia (Los, Hejsková, Klečková^{31,32}; Los, Klečková³³).
- D. Moby Dick (Bílek, Rychtera^{34,35}).
- E. Prodos (Karger, Pečová, Peč³⁶; Pečová, Karger, Peč³⁷).
- F. Nová škola (Mach, Plucková, Šibor³⁸; Mach, Plucková³⁹; Šibor, Plucková, Mach^{40,41}).
- G. Taktik International (Budinská, Štikovcová, Jelínková, Jandová⁴²; Budinská, Krizanová, Nývltová, Toman⁴³).

Dlužno přiznat, že klasické učebnice už nejsou pro mladé učitele dostatečně poutavou a atraktivní učební pomůckou, a proto mnohem raději volí audiovizuální edukační nástroje. Problém relevantnosti dostupných informačních zdrojů ale krom nekvalitního, resp. povrchního zpracování, do značné míry komplikují také neustálé legislativní změny (obvykle reflektující nové poznatky o toxických účincích různých chemických látek). Ty se do obsahu tradičních učebnic promítají jen relativně pomalu, a v případě internetových návodů, jež jsou nezdědka produkovány naprostými laiky, pak nejsou reflektovány prakticky vůbec. Dynamický vývoj v této oblasti a nepřehledné právní prostředí tak u učitelů vyvolávají oprávněné dohady, co lze a co nelze s žáky v hodinách chemie vlastně dělat (zejména pokud jde o použití konkrétních chemikálií). Škoda jen, že si podobnou otázku nekladou experimentátoři – „performeři“.

3. Posouzení rizik pro vybrané školní chemické pokusy

Ačkoli problematice použití různých chemických látek ve školním prostředí byla v nedávné minulosti věnována poměrně velká pozornost, doposud nebyl publikován žádný přehled školních chemických pokusů doporučených pro praktické vzdělávání žáků základních škol a víceletých gymnázií, který by byl doplněn o informace o jejich rizikovitosti s ohledem na možnou újmu na zdraví. Takováto souhrnná prezentace ale může významnou měrou přispět nejen k lepší informovanosti učitelů, ale především k jejich zodpovědnějšímu přístupu při zařazování jednotlivých pokusů do výuky. V rámci projektu BEDOX jsme pro tento účel zpracovali podrobnou analýzu celkem 101 návodů uváděných ve výše zmiňovaných učebnicích chemie (viz cit.^{15–42}), které jsou, dle zkušeností z fakultních základních škol Pedagogické fakulty Univerzity Karlovy, do výuky zařazovány nejčastěji. Analýzu jsme provedli s přihlédnutím k vlastnostem používaných chemických látek a k nebezpečným situacím, které se mohou během jejich provádění vyskytnout. Výstupem je přehled vybraných školních chemických pokusů a jejich rizikovost z hlediska možné újmy na zdraví experimentátora nebo přihlížejících osob (viz tab. I). Pro zjednodušení a lepší přehlednost v tabulce I neuvádíme třídy nebezpeč-

nosti a jejich kategorie podle Nařízení CLP (cit.⁴⁴), nýbrž informaci o nebezpečnosti s ohledem na povahu rizik, která mohou být s jejich používáním spojena.

Vlastní posouzení rizik těchto chemických pokusů bylo provedeno pomocí metody Ishikawův diagram, nazývaný též diagram příčin a následků⁴⁵. Jedná se o induktivní analytickou metodu hojně používanou v bezpečnostním inženýrství pro zobrazení a následnou analýzu zdrojů rizik a z nich plynoucích možných následků⁴⁶. Grafické ztvárnění námi vypracovaného Ishikawova diagramu je uvedeno na obr. 1.

Při zpracování Ishikawova diagramu byly zvažovány tyto příčiny možné nehody (tj. zdroje rizik):

- Reaktanty – nebezpečné vlastnosti použitých látek (tj. výbušnost, hořlavost, žíravost, oxidační schopnost / schopnost samozahřívání, akutní toxicita, karcinogenita, mutagenita v zárodečných buňkách, toxicita pro reprodukci, toxicita pro specifické cílové orgány po jednorázové expozici, nebezpečnost při vdechnutí, nebezpečnost pro vodní organismy), použité množství a skupenství reaktantů.
- Produkty – nebezpečné vlastnosti vzniklých látek (tj. výbušnost, hořlavost, žíravost, oxidační schopnost / schopnost samozahřívání, akutní toxicita, karcinogenita, mutagenita v zárodečných buňkách, toxicita pro reprodukci, toxicita pro specifické cílové orgány po jednorázové expozici, nebezpečnost při vdechnutí, nebezpečnost pro vodní organismy), množství vznikajících produktů a jejich skupenství (zejm. s ohledem na možný vývin nebezpečných plynů a par).
- Procesy – zahřívání, používání otevřeného plamene, rychlost chemické reakce, tepelné zbarvení chemické reakce apod.
- Pomůckové vybavení – skleněné nádoby, aparatury, ostré a špičaté nástroje (nože), technická zařízení (plynová/elektrická, digestoře atd.).
- Prostor – stísněný prostor v učebně/laboratoři, nedostatečné osvětlení/zraková zátěž, nebezpečné emise (nebezpečné plyny a aerosoly, zápach, tepelné záření).
- Lidé – požadavky na kvalifikaci a zručnost lektora (resp. náročnost provedení pokusu), zapojení žáků (tj. hluk, neobratnost žáků), možnost selhání lidského faktoru (zejm. neznalost, improvizace, opomenutí, podcenění rizik atd.).

Jako následky možné nehody pak byly zvažovány tyto eventuality:

- požár,
- výbuch,
- otrava (tj. akutní toxické účinky),
- dlouhodobé následky na zdraví (tj. chronické toxické účinky),
- poleptání/potřísnění kůže nebo očí,
- mechanická poranění (např. pořezání, píchnutí, pohmoždění),

Tabulka I

Vybrané chemické pokusy uváděné v učebnicích chemie pro základní vzdělávání^{15–42} a uvedení míry rizika možného úrazu při jejich realizaci a nebezpečných vlastností použitých chemických látek, resp. produktů jednotlivých reakcí

	Název pokusu	Míra rizika (rizikovost)	Nebezpečné vlastnosti reaktantů nebo produktů
1	Příprava a vlastnosti sulfanu	4	F, T, K, C, ŽP
2	Příprava chloridu amonného	3	C, ŽP
3	Příprava ethynu	5	F, E, C, K
4	Reakce zinku se sírou	5	F, ŽP
5	Hoření hořčíku	5	F, C
6	Hoření alkoholů	4	F, T, C
7	Reakce síry s kyslíkem	5	F, T, O, C
8	Hoření fosforu v kyslíku	5	F, O, C
9	Příprava a vlastnosti chloru	5	T, O, C, K, ŽP
10	Příprava bromu	4	T, C, ŽP
11	Příprava jodu	3	C, K, ŽP
12	Příprava a vlastnosti oxidu uhličitého	4	C
13	Hašení hořícího hořčíku oxidem uhličitým	4	F
14	Zhášení plamene oxidem uhličitým	4	C
15	Zapálení hliníku	5	F, E
16	Hoření methanu	5	F, E
17	Separace jodu	3	F, K, ŽP
18	Separace naftalenu sublimací	3	F, K, ŽP
19	Katalytická oxidace ethanolu	4	F, E, K
20	Reakce ethanolu s oxidem měďnatým	4	F, E
21	Důkaz halogenu vázaného v organické sloučenině	3	F, K
22	Neutralizace	4	C
23	Rozklad oxidu rtuťnatého	4	T, K, ŽP
24	Důkaz přítomnosti ethanolu v alkoholickém nápoji	4	F, E
25	Rozpustnost amoniaku ve vodě	3	C, ŽP
26	Rozpustnost chlorovodíku ve vodě	5	C
27	Vlastnosti propan-butanu	5	E, F
28	Příprava oxidu dusnatého	5	T, O, C
29	Příprava chlorovodíku	5	T, C
30	Příprava amoniaku	3	C, ŽP
31	Příprava a vlastnosti ethynu	5	E, F, T, O, C, K, ŽP
32	Ověření hořlavosti ethynu	5	E, F
33	Působení koncentrované kyseliny sírové na organické látky	3	C
34	Rozklad dichromanu amonného	5	F, T, O, C, K, ŽP
35	Reakce jodu s hliníkem	4	F, K, ŽP
36	Aluminotermie	5	F
37	Reakce uhlíku a síry s kyslíkem	5	F, O
38	Rozklad jodoformu	4	F, K, ŽP
39	Model hasícího přístroje	4	C
40	Vlastnosti aktivního uhlí	1	---

E = látky výbušné, F = látky hořlavé nebo samozápalné, C = látky žíravé, O = látky oxidující, T = látky akutně toxické (tj. Acut. Tox. 1/2), K = látky karcinogenní nebo mutagenní v zárodečných buňkách nebo toxické pro reprodukci nebo toxické pro specifické cílové orgány po jednorázové expozici nebo nebezpečné při vdechnutí, ŽP = látky nebezpečné pro vodní organismy

Tabulka I
Pokračování

	Název pokusu	Míra rizika (rizikovost)	Nebezpečné vlastnosti reaktantů nebo produktů
41	Krystalizace volným odpařováním	3	F, K, ŽP
42	Reakce železa se sírou	3	F, ŽP
43	Reakce oxidu měďnatého se zinkem	3	F, ŽP
44	Příprava a důkaz vodíku	4	E, F, C, ŽP
45	Hoření vodíku	4	E, F, C, ŽP
46	Výbušná směs vodíku se vzduchem	5	E, F, C, ŽP
47	Reakce sodíku s vodou	4	F, C
48	Reakce sodíku s vodou s využitím síťky	3	F, C
49	Reakce sodíku s vodou za použití filtračního papíru	5	E, F, C
50	Reakce draslíku s vodou	5	E, F, C
51	Reakce sodíku s ethanolem	3	F, C
52	Hoření cukru	3	F
53	Řada reaktivity kovů	3	F, C
54	Důkaz bílkovin	4	F, C, ŽP
55	Důkaz glukosy	4	F, C, ŽP
56	Důkaz fruktosy	3	F, C, ŽP
57	Reakce lithia s vodou	4	F, C
58	Depolymerace polyethylenu	5	F, T, C, ŽP
59	Reakce roztoku síranu měďnatého s amoniakem	2	C, ŽP
60	Plamenové zkoušky	3	F
61	Reaktivita mědi	2	C
62	Vznik sulfidů	3	C, K, ŽP
63	Sopka na stole	1	---
64	Sopka pod vodou	1	---
65	Vitaminová raketa	1	---
66	Hoření par ethanolu	5	F
67	Důkaz oxidu uhličitého a vodní páry ve vydechovaném vzduchu	2	C
68	Reakce chlorovodíku s vodným roztokem lakmusu	3	C
69	Vliv teploty na rychlost chemické reakce	3	O, C
70	Hoření želatiny	4	O, ŽP
71	Proč svíčka zhasne	1	C
72	Tajné písmo	1	---
73	Proč těsto kyne	1	---
74	Reakce sodíku s vodou pod vrstvou oleje	2	F, C
75	Chromatografie na křídě	2	F
76	Chromatografie na papíře	1	---
77	Vliv detergentů na povrchové napětí vody	1	---
78	Lodička pluje bez pohonu	1	---

E = látky výbušné, F = látky hořlavé nebo samozápalné, C = látky žíravé, O = látky oxidující, T = látky akutně toxické (tj. Acut. Tox. 1/2), K = látky karcinogenní nebo mutagenní v zárodečných buňkách nebo toxické pro reprodukci nebo toxické pro specifické cílové orgány po jednorázové expozici nebo nebezpečné při vdechnutí, ŽP = látky nebezpečné pro vodní organismy

Tabulka I
Pokračování

	Název pokusu	Míra rizika (rizikovost)	Nebezpečné vlastnosti reaktantů nebo produktů
79	Chemik barmanem	1	---
80	Elektrolýza vody	2	F
81	Důkaz produktů elektrolýzy vody	3	F
82	Elektrolýza roztoku chloridu sodného	2	C
83	Elektrolýza roztoku chloridu sodného s oddělením prostoru elektrod	2	C
84	Elektrolýza roztoku jodidu zinečnatého	1	C, K, ŽP
85	Elektrolýza roztoku chloridu měďnatého	2	C, ŽP
86	Saturnův strom	3	O, C, ŽP
87	Galvanický článek z ovoce	1	---
88	Galvanický článek v květináči	1	---
89	Vede lidské tělo elektrický proud?	1	---
90	Důkaz vodíku a uhlíku vázaných v organických sloučeninách	3	C, ŽP
91	Vznik hydroxidů srážením	2	C
92	Reakce chloru v semimikro aparatuře	4	T, C, ŽP
93	Příprava sulfanu a srážení sulfidů v semimikro aparatuře	4	F, T, O, C, K, ŽP
94	Exotermická reakce	5	F, O, C, K, ŽP
95	Samozápalná směs	4	F, O, C, K, ŽP
96	Hořící gáza	4	O, ŽP
97	Modrá baňka (Blue effect)	1	C
98	Vlastnosti mýdla	1	---
99	Barevné tajné písmo	2	C, ŽP
100	Sloní pasta	2	C, O
101	Faraonovi hadi	4	E, F

E = látky výbušné, F = látky hořlavé nebo samozápalné, C = látky žíravé, O = látky oxidující, T = látky akutně toxické (tj. Acut. Tox. 1/2), K = látky karcinogenní nebo mutagenní v zárodečných buňkách nebo toxické pro reprodukci nebo toxické pro specifické cílové orgány po jednorázové expozici nebo nebezpečné při vdechnutí, ŽP = látky nebezpečné pro vodní organismy

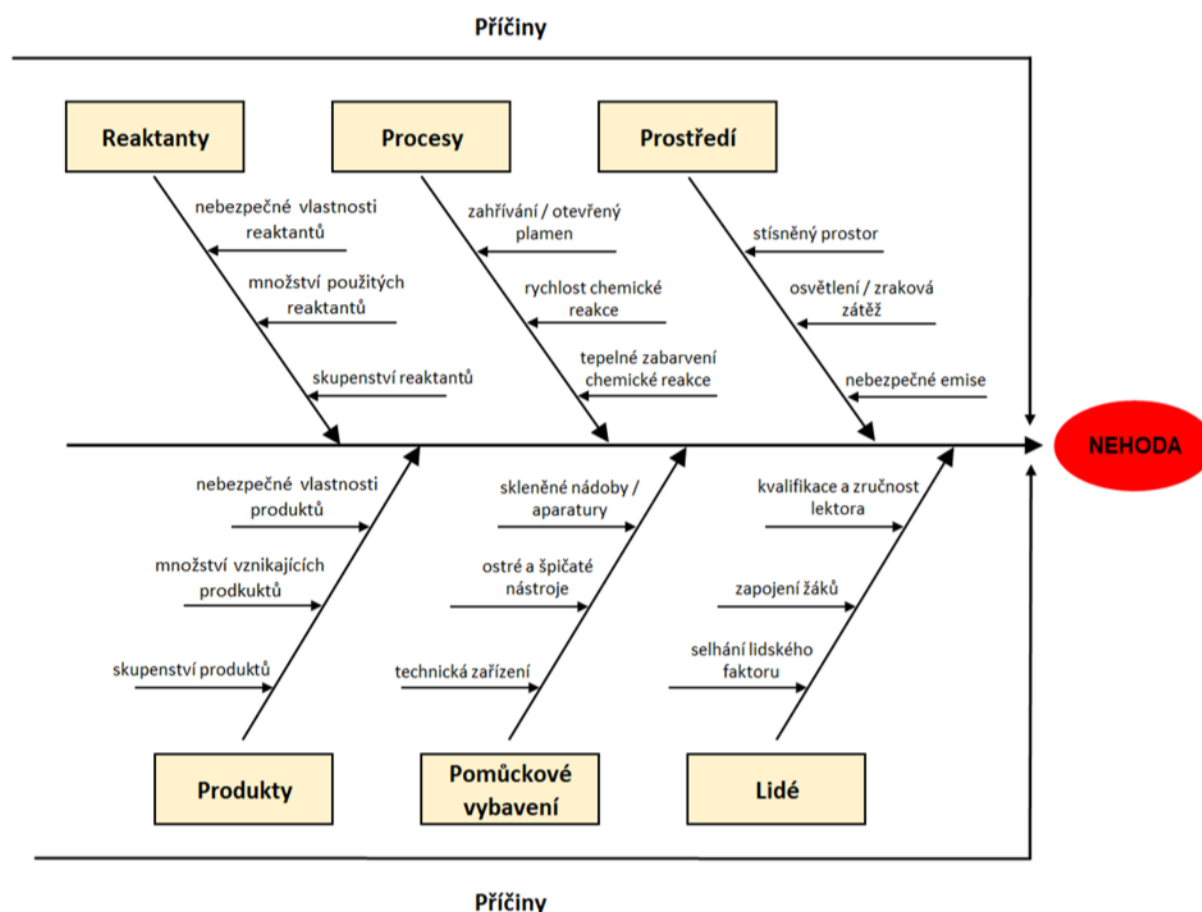
- úraz elektrickým proudem,
- vznik popálenin působením tepla nebo chladu,
- poškození životního prostředí únikem nebezpečné látky do kanalizace.

Možná rizika byla definována v návaznosti na reálný průběh daného experimentu. Bylo proto nutné provést reprodukci všech 101 vybraných chemických pokusů profesionálním a zkušeným demonstrátorem a pořídit jejich videozáznam, a to z různých úhlů a v různém detailu. Získané videozáznamy byly následně analyzovány formou kolektivní diskuse (brainstormingem), jíž se zúčastnilo osm kvalifikovaných hodnotitelů (viz autorský kolektiv). V týmu byli zastoupeni jak pedagogové, tak i odborníci na BOZP a toxikologii. Každá relevantní příčina možné nehody byla podrobně diskutována, přičemž východiskem této diskuse byly základní otázky logické dedukce: „Co se může stát“ a „Proč se to může stát?“⁴⁶. Výsledná míra

rizika (tj. rizikovost) jednotlivých pokusů pak byla stanovena s přihlédnutím k závažnosti nejhoršího možného scénáře potenciální nehody, a to za použití klasifikační škály uvedené v příloze C normy ČSN 01 8003 (viz cit.¹³):

- zanedbatelné riziko (tj. stupeň 1),
- mírné riziko (tj. stupeň 2),
- zvýšené riziko (tj. stupeň 3),
- významné riziko (tj. stupeň 4),
- velmi vysoké riziko (tj. stupeň 5).

Některým chemikům nebo učitelům chemie se bude výsledná rizikovost některých pokusů možná zdát až příliš přísná, ale tento dojem je čistě subjektivní, neboť je založen na osobní zkušenosti každého experimentátora. Nad to je potřeba zdůraznit, že většina experimentátorů obvykle provádí jednotlivé pokusy jen zřídka, takže je zřejmé, že při tak nízkém počtu opakování nemusí ani za celý jejich profesní život dojít k žádné z uvažovaných nehod. Naproti



Obr. 1. Ishikawův diagram jako východisko pro posouzení rizik vybraných školních chemických pokusů

tomu námi zvolený přístup je založen na maximální objektivizaci možných eventualit, neboť jsme vycházeli z expertizy týmu hodnotitelů, kteří byli osobně přítomni u reprodukce každého z hodnocených 101 chemických pokusů. To poskytuje vysokou míru reliability námi uváděných výsledků.

4. Nová databáze chemických pokusů s edukačním obsahem e-BEDOX

Cílem projektu BEDOX nebylo pouze provést analýzu chemických pokusů nejčastěji používaných na základních školách a víceletých gymnáziích, ani stanovit jejich rizikovost. Hlavním cílem bylo především upravit či doplnit návody těchto vybraných pokusů a to tak, aby splňovaly požadavky kladené normou ČSN 01 8003 (cit.¹³) na bezpečnost a didaktickou správnost. V rámci projektu tak byly všechny vybrané pokusy vzorově reprodukovány a vytvořeny jejich audiovizuální záznamy. Jednotlivé pracovní postupy pak byly upraveny tak, aby byly jednoznač-

né, přehledné a bezpečně proveditelné. Následně byly pro všechny vybrané chemické pokusy zpracovány jednotné metodické listy, které byly spolu s jejich video návody vloženy do nově vytvořené elektronické databáze. V každém metodickém listě jsou uvedeny (1) požadavky na praktické provedení pokusu (tj. potřebné chemikálie, pracovní místo, pomůckové a přístrojové vybavení, ochranné pomůcky, havarijní a sanační prostředky a vlastní pracovní postup), (2) pokyny pro bezpečné provedení pokusu (tj. práce s použitými látkami, způsob použití pomůckového vybavení, práce s hořlavinami a technickými plyny, postupy pro likvidaci vzniklých produktů/odpadů a zakázané činnosti) a (3) pokyny didaktické (tj. vysvětlení podstaty daného pokusu, způsob ověření správného provedení/výsledku a praktické souvislosti daného pokusu). V každém metodickém listě je navíc uvedena také informace o vhodné cílové skupině, druhu pokusu (žákovský / demonstrační / prezentační), o časové náročnosti provedení daného pokusu, o míře rizika poškození zdraví (rizikovost) a o nebezpečných faktorech, které se mohou během realizace pokusu vyskytnout. V databázi

pochopitelně nechybí ani bezpečnostní listy všech reaktantů i vznikajících produktů. Díky tomuto komplexnímu pojetí představuje databáze e-BEDOX zcela unikátní nástroj, který nesnese srovnání s žádnou z existujících obdobných databází chemických pokusů. Databáze e-BEDOX je volně dostupná na internetu (viz <https://ebedox.cz>) a určena je nejen pro odbornou učitelskou veřejnost, ale v podstatě pro kohokoli, koho daná problematika seriózně zajímá. Ohlasy z praxe, které od spuštění databáze dostáváme, ukazují, že tento nástroj nalézá poměrně široké uplatnění, a to nejen pro potřeby výuky chemie ve školách, ale kupříkladu též při edukaci studentů vysokých škol podílejících se na popularizaci chemie (např. VŠCHT Praha), anebo v rámci bezpečnostních školení pracovníků chemických laboratoří a chemických průmyslových provozů.

5. Závěr

Popsané souvislosti realizace chemických pokusů shrnují původní výsledky vzniklé při řešení projektu BEDOX, který byl s podporou Technologické agentury ČR realizován v letech 2019 až 2022. V rámci tohoto projektu bylo ambicí řešitelského týmu složeného z pracovníků Katedry zdravotnických oborů Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT, Znaleckého ústavu bezpečnosti a ochrany zdraví a Katedry chemie a didaktiky chemie Pedagogické fakulty UK, provést revizi nejméně sta vybraných chemických pokusů, které se v českých základních školách a na víceletých gymnáziích nejčastěji zařazují do výuky chemie. Východiskem byla analýza zdrojových dokumentů, které tvořilo 29 tradičních učebnic chemie pro základní školy opatřených doložkou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy. Použité učebnice představují osvědčené učební pomůcky určené pro chemické vzdělávání na základních školách a víceletých gymnáziích. Z uvedených učebnic bylo vybráno celkem 101 chemických pokusů, z nichž mnohé jsou používány i mimo školní prostředí jakožto edukační náplň volnočasových aktivit pro děti a mládež, jakými jsou například chemické kroužky, tábory či veřejné akce pro popularizaci přírodních věd. Bohužel, ne všichni experimentátoři postupují v souladu s oficiálními návody, neboť namísto osvědčených zdrojových dokumentů (např. učebnice) se uchylují k použití nerecenzovaných (laických) návodů dostupných na internetu. Díky tomu může snadno dojít k nehodě s vážnými následky na zdraví přítomných osob.

Ač je chemické experimentování důležitou součástí správné pedagogické praxe, neboť napomáhá žákům k pochopení přírodních principů a osvojení si nových znalostí⁴⁷, nikdy by neměli učitelé a lektori opomíjet také související bezpečnostní hledisko. Ostatně i platná legislativa stanoví, že chemické pokusy, jichž se účastní děti a mladiství (byť jen v roli pozorovatele), musí být provedeny podle bezpečného a didakticky ověřeného postupu. Po náročné a usilovné tříleté práci se nám podařilo tyto postupy definovat pro 101 chemických pokusů, což lze

oprávněně označit za významný a užitečný počín směřující ke zkvalitnění počátečního chemického vzdělávání, jakož i bezpečnosti a ochrany zdraví (nejen) žáků. Tento výstup, jak pevně věříme, napomůže zvýšení frekvence zařazování experimentální činnosti do výuky chemie (srov. cit.⁴⁸), a osloví nejen učitele, ale také experimentátory „nechemiky“, kteří často netuší, do čeho se vlastně pouští⁴⁹. Mezi zásady, které by měl každý experimentátor dodržovat, musí vždy patřit jak pečlivá příprava a dokonalé provedení pokusu, tak i zdravý respekt k chemii.

Článek vznikl v rámci řešení projektu č. TL02000226 „Evaluace postupů pro bezpečnou praktickou výuku chemie na školách“ (BEDOX), který byl spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci programu ĚTA.

LITERATURA

1. Skřehot P. A.: Chem. Listy 109, 647 (2015).
2. Skřehot P. A., Marek J., Kožmín P., Skřehotová M.: Chem. Listy 110, 517 (2016).
3. Skřehot P. A., Marek J., Skřehotová M., Houser F., Piřa J.: Chem. Listy 110, 947 (2016).
4. Skřehot P. A., Marek J., Ptáčková V.: Chem. Listy 115, 158 (2021).
5. ČT24. <https://ct24.ceskatelevize.cz/regiony/1855184-na-tabore-v-beskydech-popalil-ctyri-chlapce-vybuchlihu>, staženo 18. 6. 2023.
6. iDNES. https://www.idnes.cz/plzen/zpravy/odvolani-tabor-rokycany-vybuch-pokus-popalena-soud-instruktorka.A221110_111442_plzen-zpravy_vb, staženo 18. 6. 2023.
7. Zákon č. 561/2004 Sb., *Školský zákon*. (v platném znění).
8. Zákon č. 284/2020 Sb., *kterým se mění zákon č. 561/2004 Sb., o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání (školský zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 178/2016 Sb., kterým se mění zákon č. 561/2004 Sb., o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání (školský zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 200/1990 Sb., o přestupcích, ve znění pozdějších předpisů, ve znění pozdějších předpisů*.
9. Zákon č. 258/2000 Sb., *o ochraně veřejného zdraví*. (v platném znění).
10. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., *kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci* (v platném znění).
11. Vyhláška č. 61/2018 Sb. *o seznamu nebezpečných chemických látek, směsí a prachů a podmínkách nakládání s nebezpečnými chemickými látkami a směsmi a podmínkách výkonu činností spojených s nebezpečnou expozicí prachů* (v platném znění).
12. Zajíček J.: Czech. Chem. Soc. Symp. Ser. 17, 89 (2019).
13. ČSN 01 8003 *Zásady pro bezpečnou práci v chemických laboratořích* (srpen 2017) ve znění změny Z1 (duben 2021).

14. <https://citaty.net/autori/jan-amos-komensky/?page=2>, staženo 18. 6. 2023.
15. Beneš P., Pumpr V., Banýr J.: *Základy chemie 1 (učebnice pro 2. stupeň základních škol a nižší ročníky víceletých gymnázií)*. Fortuna, Praha 2000.
16. Beneš P., Pumpr V., Banýr J.: *Základy chemie 1 (pracovní sešit)*. Fortuna, Praha 2000.
17. Beneš P., Pumpr V., Banýr J.: *Základy chemie 2 (učebnice pro 2. stupeň základních škol a nižší ročníky víceletých gymnázií)*. Fortuna, Praha 2001.
18. Beneš P., Pumpr V., Banýr J.: *Základy praktické chemie 1 (učebnice pro 1. stupeň základních škol)*. Fortuna, Praha 2003.
19. Beneš P., Pumpr V., Banýr J.: *Základy chemie 2 (pracovní sešit)*. Fortuna, Praha 2004.
20. Beneš P., Pumpr V., Banýr J.: *Základy praktické chemie 1 (pracovní sešit)*. Fortuna, Praha 2005.
21. Beneš P., Pumpr V., Banýr J.: *Základy praktické chemie 2 (učebnice pro 2. stupeň základní školy)*. Fortuna, Praha 2006.
22. Beneš P., Pumpr V., Banýr J.: *Základy praktické chemie 2 (pracovní sešit)*. Fortuna, Praha 2008.
23. Škoda J., Doulík P.: *Chemie 8 (učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia)*. Fraus, Plzeň 2006.
24. Škoda J., Doulík P.: *Chemie 9 (učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia)*. Fraus, Plzeň 2009.
25. Škoda J., Doulík P.: *Chemie 8 3D (učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia)*. Fraus, Plzeň 2018.
26. Škoda J., Doulík P.: *Chemie 9 3D (učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia)*. Fraus, Plzeň 2018.
27. Šmídl M., Pelikánová I.: *Chemie 8 s nadhledem (pracovní sešit pro základní školy a víceletá gymnázia)*. Fraus, Plzeň 2018.
28. Šmídl M., Pelikánová I.: *Chemie 9 s nadhledem (pracovní sešit pro základní školy a víceletá gymnázia)*. Fraus, Plzeň 2018.
29. Škoda J., Doulík P., Šmídl M.: *Chemie 8 (příručka učitele základní školy a víceletého gymnázia)*. Fraus, Plzeň 2018.
30. Škoda J., Doulík P., Šmídl M.: *Chemie 9 (příručka učitele základní školy a víceletého gymnázia)*. Fraus, Plzeň 2011.
31. Los P., Hejsková J., Klečková M.: *Nebojte se chemie (1. díl chemie pro základní školy)*. Scientia, Praha 1994.
32. Los P., Hejsková J., Klečková M.: *Chemie se nebojíme (2. díl chemie pro základní školy)*. Scientia, Praha 1997.
33. Los P., Klečková M.: *Kamarádka chemie a neb chemie pro každý den (praktická příručka k učebnicím)*. Scientia, Praha 1999.
34. Bílek M., Rychtera J.: *Chemie krok za krokem (učebnice pro základní školy)*. Moby Dick, Praha 1999.
35. Bílek M., Rychtera J.: *Chemie na každém kroku (učebnice pro základní školy)*. Moby Dick, Praha 2000.
36. Karger I., Pečová D., Peč P.: *Chemie I (učebnice pro základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií)*. Prodos, Olomouc 2011.
37. Pečová D., Karger I., Peč P.: *Chemie II (učebnice pro základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií)*. Prodos, Olomouc 2007.
38. Mach J., Plucková I., Šibor J.: *Chemie 8. Úvod do obecné a anorganické chemie (učebnice pro 8. ročník základních škol a odpovídající ročník víceletých gymnázií)*. Nová škola, Brno 2016.
39. Mach J., Plucková I.: *Chemie 8 (pracovní sešit k úvodu do obecné a anorganické chemie)*. Nová škola, Brno 2016.
40. Šibor J., Plucková I., Mach P.: *Chemie 9. Úvod do obecné a organické chemie, biochemie a dalších chemických oborů (učebnice pro 9. ročník základních škol a odpovídající ročník víceletých gymnázií)*. Nová škola, Brno 2017.
41. Šibor J., Plucková I., Mach J.: *Úvod do obecné a organické chemie, biochemie a dalších chemických oborů (pracovní sešit)*. Nová škola, Brno 2018.
42. Budínská G., Štikovcová K., Jelínková L., Jandová J.: *Hravá chemie 8 (učebnice pro 8. ročník základních škol a víceletá gymnázia)*. Taktik International, Praha 2019.
43. Budínská G., Krizanová A., Nývltová V., Toman P.: *Hravá chemie 9 (učebnice pro 9. ročník základních škol a víceletá gymnázia)*. Taktik International, Praha 2019.
44. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 ze dne 16. prosince 2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, o změně a zrušení směrnice 67/548/EHS a 1999/45/ES a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006.
45. Ishikawa K.: *Introduction to Quality Control*. 3A Corporation, Tokio 1990.
46. Novák F.: <https://zsf.cz/show/ishikawa-diagram-rybikosti-8m>, staženo 18. 6. 2023.
47. Beneš P., Rusek M., Kudrna T.: *Chem Listy 109*, 159 (2015).
48. Rusek M., Chroustová K., Bílek M., Skřehot P. A., Hon Z.: *Chem. Did. Ecol. Metrol.* 15, 93 (2020).
49. Rusek M., Sakhnini S., Bílek M.: *Chem. Did. Ecol. Metrol.* 27, 153 (2022).

P. A. Skřehot^{a,b}, P. Beněš^a, M. Bilek^a, M. Rusek^a, K. Chroustova^a, J. Marek^{b,c}, Z. Honc, and M. Skřehotova^{a,b,d} (*^aFaculty of Education, Charles University, Prague, ^bOccupational Safety and Health Expert Institute, Prague, ^cFaculty of Biomedical Engineering, Czech Technical University, Prague, ^dUniversity of Chemistry and Technology, Prague, Czech Republic*): **Risk Assessment of Potential Injury during School Chemical Experiments Supported by the Database of Safe and Didactically Validated Procedures e-BEDOX**

Considering the importance of the use of experiment as a source of knowledge in chemistry and its teaching, it is necessary to pay attention to the risks of its implementation. The text presents the procedures and results of a risk assessment of 101 selected school chemical experiments that are used in lower secondary school practice, including their inclusion in textbooks, as well as in leisure activities. The actual risk assessment of these chemical experiments has been carried out using the Ishikawa diagram, also known as the cause and effect diagram, in order to highlight the possible hazards involved in their conduct. In relation to the identified risks, the existing instructions for all selected experiments were evaluated and new information and safety instructions were added to meet the requirements for safe and didactically validated procedures according to standard CSN 01 8003. As the processed experiments contain chemicals of virtually all hazard classes, it is very important that all real risks are taken into account when using them in schools. The entire set of produced materials, including the original video recordings, has been processed into an electronic database e-BEDOX, which is available at: <https://ebedox.cz>.

Keywords: school chemical experiment, chemistry education, hazardous chemicals, risks assessment, Ishikawa diagram, e-Bedox



Užitı tohoto dıla se řídı mezinarodnı licencı Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umozņuje neomezene využitı, distribuci a kopiovanı díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.