

Chémia zajtrajška: od skúmanky k riešeniam pre lepší svet

prof. Ing. Ľubomír Švorc, DrSc., Slovenská chemická spoločnosť

Chémia je nástroj, ktorý nám pomáha porozumieť látkam a zmenám okolo nás. Od liekov, ktoré užívame, cez potraviny na tanieri a materiály v našich domoch až po energiu v batériách – všade nachádzame fyzikálno-chemické princípy v praxi. Tento článok si kladie za cieľ poukázať na to, že sa chémia netreba báť, ukázať, ako rieši súčasné spoločenské výzvy, a naznačiť, kam smeruje: k udržateľnosti, dekarbonizácii a digitalizovaným laboratóriám, ktoré pracujú nepretržite vo dne i v noci.

Chémia nie je „dobrá“ ani „zlá“. Je to univerzálny jazyk prírody a zároveň presný nástroj v rukách ľudí. V posledných desaťročiach sa však v spoločnosti rozšíril jav známy ako **chemofóbia**, t.j. iracionálny strach zo „syntetických“ alebo „chemických“ látok, ktorý často vychádza z nepochopenia ich skutočných vlastností a rizík [1]. Každý dúšok vody, vôňa čerstvo zomletej kávy, pevnosť mosta či účinok lieku je výsledkom vlastností molekúl a ich premien. Časté obavy verejnosti vyvolávajú najmä pojmy ako mikroplasty alebo takzvané „večné chemikálie“, no práve chemici prinášajú pohľady, ako tieto javy pochopiť, spoľahlivo zmerať, vyhodnotiť, interpretovať a hľadať spôsoby, ako ich dopady znížiť. Základnou premisou bezpečného narábania s látkami je rozlíšiť nebezpečnosť a riziko. Nebezpečnosť vyjadruje, aký potenciál škody daná látka má, riziko je však súčinom nebezpečnosti a reálnej expozície. Rozhodujú dávka, spôsob expozície a čas pôsobenia. V duchu zásady „všetkého veľa škodí“ môže byť rovnaká zlúčenina prospešná v mikrogramoch, no problematická vo vyšších množstvách. Napríklad železo ako esenciálny prvok je v malých množstvách nevyhnutné pre život, no vo vysokých dávkach už pôsobí toxicky. V nasledujúcich riadkoch sú uvedené základné oblasti, v ktorých je chémia nepostrádateľná.

V zdravotníctve sa chémia prejavuje hneď v troch kľúčových oblastiach: pri návrhu nových liečiv, pri výrobe a pri kontrole ich kvality. Farmaceutická chémia hľadá molekulové štruktúry schopné zasiahnuť presne definované biologické ciele a optimalizuje ich tak, aby boli účinné, selektívne a bezpečné. Proces vývoja je vždy beh na dlhé trate, zložený z tisícok drobných krokov od pôvodného návrhu až po klinické skúšky. Analytická chémia v týchto procesoch stráži každý miligram: sleduje čistotu účinných látok, rozkladné produkty a stabilitu liekovej formy. Bez spoľahlivých analytických metód by nebolo možné zaručiť, že liek obsahuje to, čo má a účinkuje tak, ako sľubuje [2].

V potravinárstve chémia rozhoduje o tom, či je potrava bezpečná, čerstvá a výživná. Moderné laboratória sledujú stopové množstvá pesticídov, mykotoxínov či ťažkých kovov, overujú pravosť deklarovaných surovín a odhaľujú falšovanie. Nejde však len o úlohu „kontrolóra kvality“; rovnaké princípy pomáhajú optimalizovať receptúry, textúru a stabilitu výrobkov, aby boli atraktívne, chutné a zároveň trvanlivé. Prenosné spektrometrické a elektrochemické senzory dnes dokážu poskytnúť výsledky priamo v teréne, často už v priebehu niekoľkých sekúnd či minút. Z praktického pohľadu je pre bežného spotrebiteľa užitočné vedieť čítať etikety, rozumieť významu dátumov minimálnej trvanlivosti a skladovacích odporúčaní a rozpoznať, že aj zložitý zoznam zložiek nemusí byť dôvodom na paniku. Mnohé názvy, ktoré znejú „chemicky“, sú len presné označenia látok, ktoré potravine dávajú stabilitu alebo bezpečnosť. Napríklad kyselina askorbová (vitamín C, E300) chráni pred oxidáciou, lecitín (E322) z vajec alebo sóje pomáha spájať olej a vodu, kyselina citrónová (E330) udržiava čerstvosť a sorban draselný (E202) zabraňuje rastu plesní. Rovnako pri kozmetike a čistiacich prostriedkoch rozhoduje dávka a spôsob použitia. Napríklad retinol (vitamín A) či kyselina salicylová môžu v primeranej koncentrácii zlepšiť stav pokožky, no vo vyššej spôsobiť podráždenie. Peroxid vodíka bezpečne bieli zuby alebo vlasy len pri kontrolovanej koncentrácii a etanol v dezinfekčných prostriedkoch plní úlohu antimikrobiálnej látky bez rizika, ak sa používa podľa pokynov. Zodpovedný spotrebiteľ nie je ten, kto sa chémii vyhýba, ale ten, kto jej rozumie a robí informované rozhodnutia [3].

Materiálová chémia dáva výrobkom vlastnosti, ktoré by inak nemali. Polyméry a kompozity kombinujú ľahkosť s pevnosťou, odolávajú korózii a umožňujú dizajn, ktorý by bol s tradičnými kovmi ťažko dosiahnuteľný. Energetická budúcnosť sa pritom opiera o elektrochémiu: bez kvalitných elektrolytov, membrán a katódových či anódových materiálov by batérie neboli bezpečné, rýchlo nabíjateľné ani dlhoveké [4]. Katalýza ako tichá „mágia“ prebiehajúca na povrchoch skracuje reakčné cesty, šetrí energiu a umožňuje vyrábať látky, ktoré sú základom hnojív, palív a plastov.

Jednou z najpálčivejších environmentálnych výziev sú mikroplasty a nanoplasty, drobné kúsky polymérov vznikajúce mechanickým opotrebovaním alebo rozpadom väčších plastových predmetov. Mikroplasty sa správajú ako nosiče pre iné znečisťujúce látky a prenikajú potravinovým reťazcom [5]. Ďalšou kapitolou sú polyfluóvané zlúčeniny, ktorých mimoriadna stabilita im priniesla prezývku „večné chemikálie“. Chémia na tieto výzvy reaguje vo viacerých línách: vyvíjajú sa biologicky rozložiteľné materiály s riadenou životnosťou, nové sorbenty a membrány na zachytávanie problematických molekúl

či pokročilé fotokatalytické a elektrochemické postupy, ktoré dokážu rozkladať aj to, čo odoláva bežnej úprave. Neoddeliteľnou súčasťou je monitorovanie – citlivé analytické metódy dnes dokážu sledovať zmeny aj v stopových či ultrastopových koncentráciách a poskytujú tak cenné podklady pre účinnú reguláciu a environmentálnu politiku.

K systémovej zmene smeruje zelená chémia, ktorá sa snaží minimalizovať dopady už vo fáze návrhu procesov a produktov [6, 7]. V praxi to znamená premýšľať o efektívnosti chemických reakcií, voliť bezpečnejšie rozpúšťadlá a činidlá, optimalizovať teploty a tlaky tak, aby sa neplytvalo energiou. Zároveň využívať katalyzátory, ktoré umožnia premeny s menšou materiálovou náročnosťou a vyššou selektivitou. Rovnako dôležité je myslieť aj na koniec životného cyklu: navrhovať produkty tak, aby sa dali recyklovať alebo aby sa v prostredí rozložili na neškodné zložky. Moderné chemické prevádzky preto implementujú merania v reálnom čase a bezpečnostné prvky už v dizajne zariadení. Tento posun od tradičného laboratória k digitálne riadenej vede symbolizuje aj samotná transformácia chémie; z rúk vedcov sa stáva nástroj, ktorý premieňa poznanie na udržateľné riešenia (**Obr. 1**).

Dekarbonizácia hospodárstva je nemožná bez kritického chemického myslenia. Ak chceme vyrábať zelený amoniak pre hnojivá bez fosilnej stopy, potrebujeme účinnejšie katalyzátory pre syntézu pri nižších tlakoch a teplotách. Ak chceme premeniť obnoviteľnú elektrinu na chemické nosiče energie, potrebujeme stabilné membrány a elektrolyty, ktoré zabezpečia dlhú životnosť elektrolyzérův. Ak chceme znížiť koncentráciu oxidu uhličitého v atmosfére, potrebujeme sorbenty a chemické cesty, ktoré umožnia jeho premenu na uhľovodíky, alkoholy či polyméry. Vo všetkých prípadoch rozhoduje nielen samotná reakcia, ale aj čistota surovín a recyklovateľnosť vedľajších produktov [8].

Súbežne s týmito zmenami prebieha aj digitalizácia laboratórií. Umelá inteligencia pomáha prioritizovať experimenty, predpovedať vlastnosti molekúl a materiálov a navrhovať podmienky, pri ktorých sú najväčšie predpoklady na úspech [9]. Robotizácia laboratórií umožňuje pripravovať a kontinuálne analyzovať stovky vzoriek, čím zvyšuje efektívnosť práce a reprodukovateľnosť. Výskumník tak menej času trávi rutinnou manuálnou prácou a viac sa sústreďuje na interpretáciu výsledkov a návrh ďalších krokov.

Keď hovoríme o vode, poľnohospodárstve a potravinách, chémia ponúka konkrétne riešenia. Voda je univerzálne rozpúšťadlo, no zároveň vzácny zdroj, preto sa v nej ľahko objavajú stopy rôznych látok od ťažkých kovov, cez antibiotiká až po pesticídy. Adsorbenty s vysokou sorpčnou schopnosťou, selektívne iónomeniče a membrány s presne definovanou štruktúrou dokážu tieto látky účinne odstrániť, zatiaľ čo pokročilé oxidačné procesy ich chemicky rozkladajú [10]. Senzory nasadené priamo v teréne dokážu v reálnom čase signalizovať zhoršenie kvality vody a spustiť zásah ešte skôr, než sa problém rozšíri. V poľnohospodárstve presné dávkovanie živín šetrí pôdu a vodné zdroje. Obaly novej generácie zasa predlžujú čerstvosť potravín bez zbytočných prídavných látok.

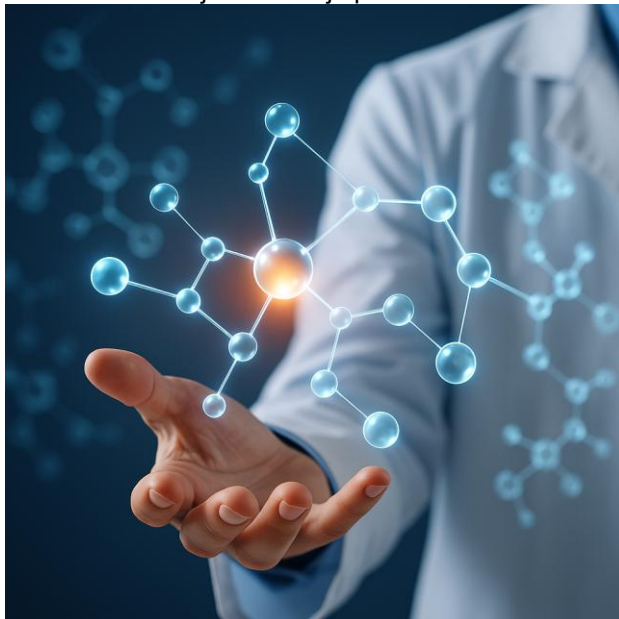
Okolo chémie koluje viacero mýtův, ktoré si zaslúžia pokojné a vecné vysvetlenie. Prírodný pôvod zlúčeniny sám osebe (ako sa častokrát argumentuje) však nie je zárukou jej bezpečnosti, napríklad neurotoxín *botulotoxín* (tiež známy ako botox) produkovanej baktériou *Clostridium botulinum* je úplne prírodný, no patrí medzi najsilnejšie známe jedy. Naopak, mnohé syntetické látky sú navrhnuté tak, aby boli biologicky inertné a zdravotne nezávadné [11]. Rovnako neplatí tvrdenie, že by sme dokázali žiť „bez chémie“; všetko okolo nás je chémia, od vody a vzduchu po cukor v čaji. Zmysluplná diskusia preto musí stáť na dátach, na zohľadnení reálnych expozícií a na porozumení tomu, ako sa látky správajú v tele aj v prostredí.

Postavenie Slovenska v chémii je historicky pevné aj vďaka univerzitám, Slovenskej akadémii vied, výskumným ústavom a odborným spoločnostiam, ktoré prepájajú akademický svet s praxou. Komunity chemikov organizujú odborné podujatia, popularizačné aktivity a súťaže, podporujú mladé talenty a zviditeľňujú úspechy slovenskej vedy doma i v zahraničí. Táto sieť je kľúčová, pretože inovácie vznikajú práve tam, kde sa stretáva teória s potrebami priemyslu a kde sa poznatky rýchlo prenášajú do praxe. Otvorené zdieľanie vedomostí, zručností a skúseností a spolupráca medzi vedcami a pedagógmi naprieč inštitúciami sú preto najlepšou odpoveďou na výzvy, ktoré chémia dnes rieši. Slovenská chemická spoločnosť je v tejto oblasti dôležitým pojítkom a reprezentuje hlas širokej chemickej komunity.

Rysuje sa niekoľko trendův, ktoré budú formovať chemické myslenie v nasledujúcom desaťročí. Personalizovaná medicína spojí chemické poznanie so špecifikami pacienta a prinesie sofistikované diagnostické metódy s rýchlou odozvou priam pri lôžku. Inteligentné materiály získajú schopnosť reagovať na podnety a postupne sa „hojiť“, čím zlepšia bezpečnosť aj životnosť konštrukcií, dopravných prostriedkov či spotrebičov. Polyméry navrhnuté pre cirkulárnu ekonomiku dostanú plán recyklácie už vo fáze vzniku a elektrochemická výroba základných chemikálií bude krok za krokom znižovať uhlíkovú stopu. Napokon, digitálna chémia premení laboratórium na dynamickú a pružnú platformu.

Ak by sme mali túto cestu zhrnúť do jednej vety, znela by nasledovne: **chémia je často neviditeľná, no zároveň nepostrádateľná**. Učí nás čeliť veľkým otázkam, ako zabezpečiť zdravie,

energiu, potraviny a čisté prostredie pre rastúcu populáciu. Odpoveď na tieto otázky bude vždy aspoň sčasti chemická. Práve preto sa oplatí rozumieť základom chémie, vedieť odlíšiť mýty od faktov a podporovať iniciatívy, ktoré spájajú vedu s praxou a prinášajú riešenia s prínosom pre spoločnosť. Chémia si tu pýta dialóg medzi vedou, priemyslom, štátom a občanmi. Pretože práve tam, kde sa na problémy pozeráme spoločne a s rovnakými faktami, rýchlejšie nachádzame riešenia, ktoré dávajú zmysel. A to je jedno z poslaní Slovenskej chemickej spoločnosti.



Obr. 1 **Spojenie človeka a chémie** (ruka vedca symbolizuje, že chémia je „v ľudských rukách“; nie je dobrá ani zlá, ale závisí od zodpovedného použitia).

Literatúra:

1. Rollini, R., Falcicola, L., Tortorella, S.: *Chemophobia: A systematic review*, Tetrahedron 113, 132758 (2022).
2. Watson, D. G.: *Pharmaceutical Analysis: A Textbook for Pharmacy Students and Pharmaceutical Chemists* (4th ed.). Elsevier (2020).
3. Belitz, H. D., Grosch, W., Schieberle, P.: *Food Chemistry* (5th ed.). Springer (2023).
4. Adebajo, I. T., Eko, J., Agbeyegbe, A. G., Yuk, S. F., Cowart, S. V., Nagelli, E. A., Burpo, F. J., Allen, J. L., Tran, D. T., Bhattarai, N., Shah, K., Hwang, J. Y., Sun, H. H.: *A comprehensive review of lithium-ion battery components degradation and operational considerations: a safety perspective*, Energy Adv. 4, 820–877 (2025).
5. Lalrinfela, P., Vanlalsangi, R., Lalrinzuali, K., Babu, P. J.: *Microplastics: Their effects on the environment, human health, and plant ecosystems*, Environmental Pollution and Management 1, 248–259 (2024).
6. Anastas, P. T., & Warner, J. C.: *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press (1998).
7. Lancaster, M.: *Green Chemistry: An Introductory Text* (2nd ed.). Royal Society of Chemistry (2016).
8. Aviso, K. B.: *Decarbonizing the chemical industry through digital technologies*, Digital Chemical Engineering 16, 100250 (2025).
9. Olawade, D. B., Fapohunda, O., Usman, S. O., Akintayo, A., Ige, A. O., Adekunle, Y. A., Adeola, A. O.: *Artificial Intelligence in Computational and Materials Chemistry: Prospects and Limitations*, Chem. Afr. 8, 2707–2721 (2025).
10. Hübner, U., Spahr, S., Lutze, H., Wieland, A., Rüting, S., Gernjak, W., Wenk, J.: *Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – Guidance for systematic future research*, Heliyon 10, e30402 (2024).
11. Riesmeier, M.: *Can Chemical Substances be Natural?*, Ambix 72, 58–76 (2025).