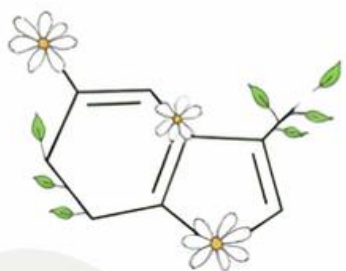
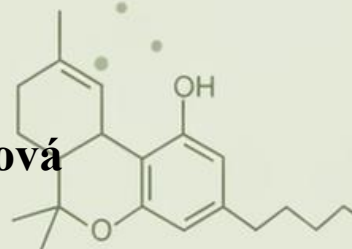


Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre
Fakulta prírodných vied a informatiky

Základy zelenej organickej chémie
pre učiteľské odbory: inovácie vo vzdelávaní

Simona Gallisová, Jana Jakubčinová,
Melánia Feszterová, Veronika Demovics Silliková



Nitra 2026

Základy zelenej organickej chémie pre učiteľské odbory: inovácie vo vzdelávaní

Vysokoškolská učebnica

Edícia Prírodovedec č. 917

Autorky:

Bc. Simona Gallisová, *Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Fakulta prírodných vied a informatiky, Katedra botaniky a genetiky, študentka*

Mgr. Jana Jakubčinová, PhD., *Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Ústav potravinárstva, vysokoškolská pedagogička*

doc. Ing. Melánia Feszterová, PhD., *Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Fakulta prírodných vied a informatiky, Katedra chémie, vysokoškolská pedagogička*

RNDr. Veronika Demovics Silliková, PhD., *Ústav anorganickej chémie SAV, v. v. i., vedecko-výskumná pracovníčka*

Recenzenti:

dr hab. inž. Marcin Kostrzewa, prof. URad

Mgr. Marta Kuhnová, PhD.

© Jana Jakubčinová, Melánia Feszterová

Publikácia vznikla s finančnou podporou projektu KEGA 026UKF-4/2025 s názvom *Environmentálna chémia pre budúcich učiteľov: inovácie vo vzdelávaní* a je výsledkom záverečnej diplomovej práce *Inovatívne prístupy v organickej chémii použité pri získaní extraktov z rastlinných vzoriek*.

ISBN 978-80-558-2382-9



9 788055 823829

OBSAH

PREDHOVOR	4
1 Úvod do organickej chémie.....	6
2 Zelená chémia	8
2.1 Definícia	8
2.2 História a vznik.....	8
2.3 Metódy hodnotenia zelenej chémie	9
2.4 12 princípov zelenej chémie	10
2.4.1 Prevencia vzniku odpadu	13
2.4.2 Atómová ekonómia	15
2.4.3 Menej riskantné chemické syntézy	17
2.4.4 Navrhovanie bezpečnejších chemikálií.....	19
2.4.5 Bezpečnejšie rozpúšťadlá a pomocné látky	22
2.4.6 Efektívne využitie energie	23
2.4.7 Používanie obnoviteľných zdrojov energie.....	25
2.4.8 Obmedzenie používania derivátov	27
2.4.9 Presadzovanie katalytických procesov.....	28
2.4.10 Navrhovanie degradácie chemických látok	31
2.4.11 Kompletná analýza chemických procesov	32
2.4.12 Bezpečnosť chemických procesov / princíp bezpečnosti	33
3 Metódy zelenej chémie.....	35
3.1 Zelené rozpúšťadlá v organickej chémii (tradičné rozpúšťadlá, alternatívy)	35
3.2 Gul'ové mlyny.....	36
3.3 Ultrazvuk	37
3.4 Mikrovlnné reaktory	39
3.5 Katalýza a biokatalýza.....	40
3.6 Fotochémia	41
4 Otázky a úlohy k tematickým celkom.....	43
4.1 Organická chémia – otázky a úlohy.....	43
4.2 Zelená chémia – otázky a úlohy	49
4.2.1 Definícia a história vzniku	49
4.2.2 Princípy zelenej chémie	52
4.3 Metódy zelenej chémie – otázky a úlohy	64
5 Riešenia otázok a úloh k tematickým celkom.....	71

5.1	Riešenia tematickeho celku Organická chémia	71
5.2	Riešenia tematickeho celku Zelená chémia	77
5.2.1	Riešenia tematických celkov Definícia a História vzniku	77
5.2.2	Riešenia tematickeho celku Princípy zelenej chémie	80
5.3	Riešenia tematickeho celku Metódy zelenej chémie	93
	ZÁVER.....	101
	POUŽITÁ LITERATÚRA	103
	PRÍLOHY	112

PREDHOVOR

Ochrana zdravia, bezpečnosť pri práci a starostlivosť o životné prostredie predstavujú základné hodnoty, ktoré by mali byť prirodzenou súčasťou profesionálneho, ale aj osobného života každého jednotlivca. V oblasti chémie nadobúdajú tieto princípy osobitný význam, keďže chemické procesy a produkty majú bezprostredný vplyv na kvalitu životného prostredia ako aj na zdravie človeka. Moderné chemické vzdelávanie preto nemôže byť zamerané výlučne na osvojovanie si teoretických poznatkov, ale musí viesť aj k formovaniu zodpovedného a environmentálne uvedomelého myslenia.

V reakcii na rastúce environmentálne výzvy vznikol v druhej polovici 20. storočia relatívne nový vedný odbor – zelená chémia. Jej cieľom je navrhovať chemické produkty a procesy tak, aby sa minimalizovala alebo úplne eliminovala tvorba nebezpečných látok a odpadu. Za zakladateľa koncepcie zelenej chémie je považovaný Paul Anastas, ktorý sformuloval dvanásť princípov zelenej chémie ako základný rámec pre environmentálne zodpovedné chemické myslenie a prax. Tieto princípy zdôrazňujú prevenciu vzniku odpadu, využívanie obnoviteľných zdrojov surovín a energie, znižovanie toxicity chemických látok, energetickú efektívnosť procesov a zvyšovanie ich bezpečnosti.

Predkladaná vysokoškolská učebnica s názvom *Základy zelenej organickej chémie pre učiteľské odbory: inovácie vo vzdelávaní* je koncipovaná s cieľom priblížiť problematiku zelenej chémie v kontexte vzdelávania budúcich učiteľov chémie. Je určená predovšetkým študentom Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre, najmä v študijnom programe 38. Učiteľstvo a pedagogické vedy zamerané na prírodovedné odbory, no jej obsah môže byť prínosný aj pre širšiu odbornú verejnosť. Publikácia reflektuje potrebu prepojenia teoretických poznatkov s praktickými aspektmi bezpečnosti práce, environmentálnej ochrany a udržateľného rozvoja.

Zelená chémia podporuje využívanie bezpečnejších postupov, rozpúšťadiel, realizáciu reakcií bez rozpúšťadiel, aplikáciu katalytických a enzymatických procesov, ako aj optimalizáciu reakčných podmienok s cieľom zvýšiť ich účinnosť a zároveň znížiť environmentálnu záťaž. Významnú úlohu zohráva aj vývoj nových technológií a zariadení, ktoré umožňujú implementovať princípy zelenej chémie do praxe. Optimalizácia chemických procesov z environmentálneho, ekonomického aj bezpečnostného hľadiska sa stáva neoddeliteľnou súčasťou modernej chémie. Zelená chémia tak nepredstavuje alternatívu ku klasickej chémii, ale jej prirodzený vývoj smerom k udržateľnosti.

Ambíciou tejto učebnice je prispieť k formovaniu generácie pedagógov, ktorí budú schopní integrovať princípy zelenej chémie do vyučovacieho procesu a viesť žiakov

k zodpovednému postoju voči prírode. Dovoľme si tiež konštatovať, že „zeleným chemikom“ sa môže stať každý z nás. Otázka je, do akej miery sme ochotní aplikovať zásady ochrany zdravia, bezpečnosti a environmentálnej zodpovednosti vo svojej každodennej praxi.

Recenzentom ďakujeme za ich cenné rady a pripomienky.

Autorky

1 Úvod do organickej chémie

Chémia sa ako vedná disciplína vyvíjala postupne počas dlhého obdobia. V jej raných fázach sa látky delili pomerne jednoducho na tie, ktoré sú horľavé, a tie, ktoré horeniu nepodliehajú. Medzi horľavé látky patrili napr. drevo, tuky či oleje, teda najmä prírodné materiály. Naopak, medzi nehorľavé sa zaradovali látky ako kamene, soľ alebo voda.

Od 17. storočia dominovala tzv. vitalistická teória, podľa ktorej je na vznik organických látok nevyhnutná osobitná „životná sila“ označovaná ako „*vis vitalis*“. Mnohí vedci však s týmto názorom nesúhlasili a pokúšali sa organické zlúčeniny pripraviť umelo. Napriek ich snahe sa to dlhý čas nedarilo. Významný posun priniesla analýza organických látok v rastlinných a živočíšnych organizmoch, ktorú uskutočnil A. L. Lavoisier. Zistil, že tieto látky sú tvorené najmä uhlíkom, vodíkom a kyslíkom, pričom niektoré obsahujú aj dusík, či fosfor. Tento objav sa stal základom pre ďalší rozvoj chemických teórií a experimentov.

Neskôr si chemik J. W. Döbereiner všimol špecifické postavenie uhlíka v organických zlúčeninách. Na jeho pozorovania nadviazal J. J. Berzelius, ktorý poukázal na odlišný spôsob viazania atómov v organickej chémii. Základnú kostru organických molekúl tak tvorí reťazec atómov uhlíka, na ktorý sa viažu ďalšie prvky.

Už v roku 1783 pripravil C. W. Scheele kyanid draselný (KCN) spaľovaním uhlíka z K_2CO_3 v prítomnosti NH_4Cl , hoci samotný pojem syntézy ešte nebol vtedy správne chápaný. Za prelomový moment v organickej chémii sa však považuje až syntéza močoviny, ktorú v roku 1828 uskutočnil F. Wöhler zahrievaním kyanatanu amónneho. Týmto experimentom vyvrátil platnosť vitalistickej teórie – **Schéma 1**.

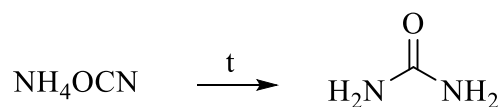


Schéma 1. Syntéza močoviny podľa F. Wöhlera (*Zdroj: Linkešová, 2010*)

Neskôr prišiel s významným objavom aj F. A. Kekulé, ktorý sa venoval skúmaniu štruktúry látok. Zistil, že uhlík v organických zlúčeninách vytvára štyri väzby, je teda štvorväzbový, a jeho atómy sa dokážu navzájom spájať väzbami. Tento objav otvoril cestu k priestorovému chápaniu organických molekúl. Touto problematikou sa ďalej zaoberali J. H. van 't Hoff a J. A. Le Bel, ktorí na jeho základe navrhli tetraedrický model atómu uhlíka – **Obrázok 1**.



Obrázok 1. Tetraedrický model atómu uhlíka podľa Van't Hoffa a Le Bela (Zdroj: Kosheleva a Kreinovich, 2014)

Postupne sa niektorí vedci začali zaoberať aj zložitejšími molekulami, napr. benzénom. Ako prvý sa jeho štruktúrou zaoberal J. J. Loschmidt. Skutočné objasnenie štruktúry benzénu však priniesol až F. A. Kekulé, ktorý ho považoval za najjednoduchšiu aromatickú zlúčeninu, pričom stanovil, že ide o molekulu tvorenú šiestimi atómami uhlíka usporiadanými do kruhu. V roku 1872 svoju predstavu ešte rozšíril o myšlienku striedania (oscilácie) medzi dvoma formami – **Schéma 2**. Kekulé napokon definoval organickú chémiu ako vedu zaoberajúcu sa zlúčeninami uhlíka.

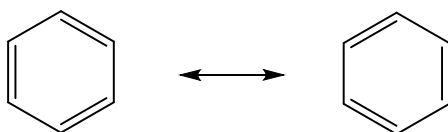


Schéma 2. Štruktúra benzénu podľa F. A. Kekulého (Zdroj: Partington, 1989)

V súčasnosti je organická chémia úzko prepojená s viacerými chemickými disciplínami, ako sú všeobecná, anorganická, fyzikálna, analytická chémia, či biochémia. Zároveň presahuje aj do nechemických odborov, napr. biológie, fyziky, matematiky a informatiky.

Dnes poznáme viac ako 17 miliónov organických zlúčenín a ich počet neustále rastie. Ich význam a využitie sú veľmi široké. Stretávame sa s nimi aj v každodennom živote. Nachádzajú sa napr. v mydlách, parfumoch, dekoratívnej kozmetike, či farbách, pričom môžu tvoriť aj súčasť farbív používaných v solárnych článkoch.

Zároveň je potrebné uvedomiť si, že v minulosti dochádzalo aj k viacerým haváriám, ktoré spolu so zhoršujúcim sa stavom životného prostredia poukázali na negatívne účinky niektorých látok na ľudské zdravie. Aj preto sa v súčasnosti čoraz viac vedcov venuje tzv. „zelenej chémii“, ktorej cieľom je vývoj ekologickejších a bezpečnejších postupov syntézy aj využívania organických zlúčenín.

2 Zelená chémia

2.1 Definícia

Pod slovným spojením zelená chémia si môžeme predstaviť prijateľnejšiu a ekologickejšiu podobu chémie, ako súčasti prírodovedných disciplín. Táto predstava je z väčšej časti správna. Aby sme však boli presní, zelenú chémiu definujeme ako súčasť chemickej vedy, ktorá sa zameriava na udržateľné, bezpečné a neznečisťujúce alternatívy chemických postupov, s minimálnou spotrebou energie a materiálu, a samozrejme s čo najnižšou produkciou odpadu. Je to pomerne nová vedná disciplína, ktorej cieľom je vyhovieť požiadavkám priemyselnej výroby, ale zároveň aj požiadavkám životného prostredia s ohľadom na ochranu zdravia, pričom sa snaží vytvoriť medzi nimi rovnováhu.

Americký chemik Paul Anastas je považovaný za zakladateľa, ktorý zadefinoval zelenú chémiu ako súbor princípov, ktoré sa zameriavajú na zníženie používania a aj tvorby nebezpečných chemických látok. Ich úlohou je zníženie 5 základných faktorov:

1. množstvo vzniknutého *odpadu*,
2. množstvo východiskového *materiálu*,
3. *energia* potrebná napr. na uskutočnenie experimentov,
4. *celkové náklady* spojené s danou činnosťou,
5. *riziká a nebezpečenstvo*.

Tieto faktory sú podrobnejšie popísané v 12 princípoch zelenej chémie. V literatúre sa často používajú aj termíny *udržateľnosť* a *udržateľný rozvoj*, ktorých definícia nie je presne daná. Základnou myšlienkou je dosiahnuť to, aby potreby dnešnej generácie neohrozovali a nebrali možnosť budúcim generáciám, naplňať tie ich vlastné. Podstatou je uvedomenie si sveta ako systému, že rozhodnutie dnešnej generácie bude mať vplyv na možnosti nasledujúcich generácií a tiež že každá zmena sa prejaví v spoločnosti žijúcej na našej planéte.

2.2 História a vznik

Prvé úvahy o zelenej chémii vznikli ako reakcia na zákon o prevencii znečisťovania, ktorý bol prijatý v roku 1990. Podľa Agentúry na ochranu životného prostredia USA (z angl. „*U.S. Environmental Protection Agency*“, ďalej EPA) tento zákon zaviedol národnú politiku, ktorej cieľom bolo minimalizovať znečisťovanie životného prostredia vo všetkých jeho formách.

V roku 1996 bola zavedená prezidentská cena v oblasti zelenej chémie (z angl. „*Presidential Green Chemistry Challenge Awards*“), ktorá upriamila pozornosť na významné úspechy v priemyselnej aj akademickej sfére. Následne sa záujem o zelenú chémiu rozšíril aj do Spojeného kráľovstva, Španielska a Talianska. O tri roky neskôr bolo formulovaných 12 princípov zelenej chémie, ktoré dnes predstavujú základné usmernenia pre „zelených chemikov“.

V roku 1999 bol prvýkrát vydaný odborný časopis *Green Chemistry*, ktorý vychádza pravidelne dodnes a prináša nové poznatky a riešenia v tejto oblasti.

V súčasnosti sú poznatky v oblasti zelenej chémie značne podrobne rozpracované. Existuje množstvo tzv. zelených metód a mechanizmov, ako aj moderných „zelených nástrojov“ a prístrojov. Tie sa využívajú najmä na znižovanie nákladov, množstva odpadu a spotreby energie, pričom zároveň zvyšujú efektivitu reakcií a výťažnosť produktov s ohľadom na životné prostredie.

2.3 Metódy hodnotenia zelenej chémie

Metódy hodnotenia zelenej chémie slúžia na objektívne posúdenie toho, do akej miery je chemický proces alebo syntéza ekologická, efektívna a udržateľná. Umožňujú porovnávať jednotlivé reakčné postupy z hľadiska spotreby surovín, tvorby odpadu, energetickej náročnosti aj environmentálneho vplyvu. Ich cieľom je identifikovať také postupy, ktoré minimalizujú negatívne dopady na životné prostredie a zároveň maximalizujú využitie vstupných látok.

Jednou zo základných metód je *atómová ekonomika* (AE), ktorá hodnotí, ako efektívne sa atómy reaktantov zabudujú do konečného produktu. Čím vyššia je hodnota AE, tým menej vedľajších produktov a odpadu vzniká. Tento parameter patrí medzi dôležité už pri návrhu chemickej reakcie, pretože umožňuje predchádzať vzniku odpadu ešte pred samotným začiatkom syntézy.

Ďalším významným ukazovateľom je *E-faktor*, ktorý vyjadruje pomer hmotnosti vzniknutého odpadu k hmotnosti získaného produktu. Jeho ideálna hodnota je 0, čo znamená úplne bezodpadový proces. V praxi platí, že čím vyšší *E-faktor*, tým menej ekologický je chemický postup.

S atómovou ekonomikou úzko súvisí aj *využitelnosť atómov*, ktorá udáva podiel atómov východiskových látok nachádzajúcich sa v konečnom produkte. Tento ukazovateľ je dôležitý najmä v priemyselnej výrobe, kde pomáha optimalizovať reakčné postupy a znižovať straty surovín.

Medzi ďalšie metódy patrí aj hodnota označovaná ako *hmotnostná intenzita procesu*, ktorá hodnotí celkovú hmotnosť všetkých použitých látok v porovnaní s hmotnosťou produktu. Nižšia hodnota znamená efektívnejšie využitie materiálov a menšie množstvo odpadu.

Dôležitou súčasťou hodnotenia je aj *energetická náročnosť procesu*, ktorá sleduje spotrebu energie potrebnej na priebeh reakcie, napr. vo forme tepla alebo tlaku. Znižovanie energetických nárokov patrí medzi hlavné ciele zelenej chémie.

Patrí sem aj *hodnotenie toxicity a nebezpečnosti použitých látok*, ktoré zhodnocuje ich vplyv na ľudské zdravie a životné prostredie. V moderných prístupoch sa preferuje náhrada nebezpečných látok menej škodlivými alternatívami.

2.4 12 princípov zelenej chémie

Veľkým krokom v oblasti zelenej chémie bolo zadefinovanie 12 základných princípov v roku 1998, ktoré sa pripisujú P. Anastasovi a J. Warnerovi. Práve tieto princípy sprevádzali celý rozvoj zelenej chémie a môžeme ich nazvať, aj ako pravidlá určujúce kroky, ktoré musia byť dodržané, ak chceme skutočne rozvíjať toto pomerne mladé odvetvie chémie:

1. Prevencia vzniku odpadu.
2. Atómová ekonómia.
3. Menej riskantné chemické syntézy.
4. Navrhovanie bezpečnejších chemikálií.
5. Bezpečnejšie rozpúšťadlá a pomocné látky.
6. Efektívne využitie energie.
7. Používanie obnoviteľných zdrojov energie.
8. Obmedzenie používania derivátov.
9. Presadzovanie katalytických procesov.
10. Navrhovanie degradácie chemických látok.
11. Kompletná analýza chemických procesov.
12. Bezpečnosť chemických procesov / princíp bezpečnosti.

12 princípov zelenej chémie je znázornených aj na **Obrázku 3**.



Obrázok 3. 12 princípov zelenej chémie (Zdroj: Aryal, 2022)

Sumarizáciu základných princípov zelenej chémie uvádzame tiež v **Tabuľke 1**.

Tabuľka 1. 12 princípov zelenej chémie

	Princíp	Čo zahŕňa
1	Prevencia vzniku odpadu	Navrhuje používanie takých reakčných mechanizmov, pri ktorých vzniká čo najmenšie množstvo odpadu, ktoré sa udáva tzv. <i>E</i> -faktorom.
2	Atómová ekonómia	Vyjadruje dôležitosť nielen množstva vzniknutých produktov, ale zohľadňuje tiež, aké množstvo východiskovej látky sa podieľa na tvorbe žiadaného produktu, ktoré môžeme vyjadriť teoretickým číslom atómovej ekonómie (AE).
3	Menej riskantné chemické syntézy	Poukazuje na potrebné zníženie používania rôznych toxických látok pri chemických reakciách, prípadne

		hľadanie bezpečnejších alternatív za účelom zníženia rizika nebezpečenstva z pohľadu ľudského zdravia a životného prostredia.
4	Navrhovanie bezpečnejších chemikálií	Vyjadruje potrebu redukovať používanie toxických látok, hľadanie alternatívnych foriem reakcií, ktoré obsahujú menej nebezpečné chemikálie za vzniku rovnakého produktu.
5	Bezpečnejšie rozpúšťadlá a pomocné látky	Hovorí o používaní rozpúšťadiel, ktoré sú síce v prípade niektorých reakcií nevyhnutné, avšak často práve rozpúšťadlá predstavujú odpad po ukončení chemických reakcií, preto sa odporúča hľadať alternatívy, ktoré nevyžadujú prítomnosť rozpúšťadla, alebo vyžadujú prítomnosť viac ekologickejšieho rozpúšťadla.
6	Efektívne využitie energie	Navrhuje používanie alternatívnych zdrojov energie, ako je napr. ultrazvukové, či mikrovlnné žiarenie a pod., ktoré sú v porovnaní s inými zdrojmi energie šetrnejšie.
7	Obnoviteľné zdroje energie	Vyjadruje vážnosť rapídne ubúdajúceho množstva surovín, ktoré my považujeme za neobnoviteľné a navrhuje využívanie obnoviteľných zdrojov surovín, ako napr. biomasa, bioetanol, bionafta alebo bioplyn.
8	Obmedzenie používania derivátov	Poukazuje na možnosť šetrenia energie, času a surovín, tým, že sa zníži počet reakčných krokov a upraví ich návrh.
9	Katalytické procesy	Preferuje používanie katalytických procesov, z dôvodu zníženia množstva používaných látok, skrátenia reakčného času a opätovného využitia katalyzátora.
10	Degradácia chemických látok	Navrhuje používanie takých látok, ktoré sú ľahšie degradovateľné v porovnaní s pôvodnou látkou.
11	Analýza chemických procesov	Odporúča podrobnú kontrolu chemických procesov, aby sa predišlo nečakaným nehodám, ktoré tvoria

		riziko nielen pre nás a naše zdravie, ale aj pre naše životné prostredie.
12	Bezpečnosť chemických procesov	Zdôrazňuje dodržiavanie bezpečnostných zásad v laboratórnej praxi, čím sa účinne predchádza rizikám explózií a prevádzkových havárií.

2.4.1 Prevencia vzniku odpadu

Pod pojmom odpad rozumieme látky, ktoré vznikajú počas chemických, výrobných alebo spracovateľských procesov a ďalej sa už nevyužívajú. Najväčší podiel tvoria pevné odpady, najmä z priemyselnej výroby, ako aj komunálny odpad z domácností a miest. Z pohľadu zelenej chémie je preto dôležité predchádzať vzniku odpadu už v samotnom návrhu procesov, pretože jeho následná likvidácia je často náročná a zaťažujúca pre životné prostredie.

Problémom je aj skutočnosť, že množstvo vznikajúceho odpadu neustále narastá. Plynné zložky odpadu môžu uniknúť do atmosféry a následne sa prostredníctvom zrážok dostávajú späť do pôdy a vody, čím prispievajú k sekundárnemu znečisteniu.

Základnou myšlienkou moderného prístupu je, že odpad by mal byť v maximálnej možnej miere recyklovaný a opätovne využitý ako surovina v ďalšej výrobe (cirkulárna ekonómia). V praxi sa však veľká časť odpadu stále ukladá na skládky alebo sa likviduje v spaľovniach, čo súvisí najmä s vysokými nákladmi na jeho zber, triedenie a spracovanie, ako aj s obmedzenou infraštruktúrou recyklácie.

V spaľovniach prebieha termické zneškodňovanie odpadu, pri ktorom sa pri vysokých teplotách (približne 800 – 900 °C) organické zložky rozkladajú na jednoduchšie látky. Tým sa výrazne znižuje objem odpadu, často až na približne desatinu pôvodného množstva. Nevýhodou tohto procesu je však vznik emisií, ktoré môžu zaťažovať ovzdušie, ak nie sú dostatočne kontrolované.

Moderné technológie sa snažia z odpadu získavať aj energiu. Využíva sa napr. jeho tavenie alebo splyňovanie za prítomnosti kyslíka. Na tomto princípe fungujú aj zariadenia, v ktorých sa odpad pri veľmi vysokých teplotách mení na plyn, ktorý je následne využívaný na výrobu elektriny a tepla. Takéto procesy sú vhodné nielen pre komunálny odpad, ale aj pre niektoré špecifické druhy, napr. pneumatiky. Kľúčové je pritom zabezpečiť čo najúplnejšiu likvidáciu toxických organických látok.

Významným problémom odpadového hospodárstva sú aj odpadové vody, ktoré môžu byť znečistené z priemyselných, komunálnych alebo dopravných zdrojov. Obsahujú rôzne toxické látky, napr. ropné produkty, či fenoly, ktoré narúšajú prirodzené samočistiace procesy vôd a poškodzujú vodné ekosystémy.

V čistiarnach odpadových vôd sa tieto látky odstraňujú a vznikajú čistiarenské kaly. Tie sa často spracúvajú procesom hnitia, pri ktorom vzniká bioplyn a stabilizovaný kal využívaný v poľnohospodárstve ako hnojivo. Nevýhodou však je, že môže obsahovať aj ťažké kovy, či zvyšky organických látok, napr. liečiv, čo postupne vedie k obmedzovaniu tohto spôsobu využitia.

Základným princípom zelenej chémie je preto snaha o minimalizáciu vzniku odpadu už v procese výroby, pretože jeho prevencia je jednoduchšia a ekonomicky výhodnejšia ako následné spracovanie, či likvidácia. Hoci úplné odstránenie odpadu nie je možné, jeho množstvo možno výrazne znižovať.

Odpad môže zároveň slúžiť ako druhotná surovina, avšak pred jeho ďalším využitím je potrebné zabezpečiť jeho dostatočnú čistotu a správne triedenie. Nie všetky odpady sú vhodné na recykláciu. Napr. biologicky rozložiteľný odpad, ako aj zvyšky ovocia a zeleniny, sa separuje ako kompostovateľná zložka. Správne triedenie odpadu je znázornené v **Tabuľke 2**.

Tabuľka 2. Triedenie odpadu

	Papier	Sklo	Plast	Kovy
Patria sem	časopisy kartóny zošity kancelársky papier papierové obaly	sklenené črepy poháre zaváraninové fľaše (bez vrchnáku)	fľaše od nápojov, kozmetických a pracích prípravkov vedrá plastové hračky	konzervy plechovky
Nepatria sem	Papier: na pečenie, povoskovaný, pauzovací, kopírovací papier. hygienické potreby	zrkadlá plexisklo autosklo žiarovky fľaše od chemikálií	molitan PVC plastové diely s kovovými časticami	plechovky od farieb a iných chemikálií

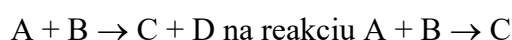
Dôležitou súčasťou komunálneho odpadu je aj nebezpečný odpad, ktorý je potrebné odovzdávať na špecializovaných zberných miestach alebo v zberných dvoroch. Do tejto kategórie patria napr. lepidlá, farby, žiarivky, staré elektrospotrebiče, ako aj použité batérie a akumulátory.

Odpad vznikajúci v chemickej praxi sa vo väčšine prípadov zaraďuje medzi nebezpečné látky. Jeho likvidácia je časovo náročná a finančne nákladná, preto je v súlade so zásadami zelenej chémie nevyhnutné snažiť sa o minimalizáciu jeho vzniku. Dôležitým prístupom je tiež plánovanie experimentov tak, aby sa pripravovalo len také množstvo chemikálií, ktoré je skutočne potrebné a následne aj spotrebované počas experimentálnej práce.

2.4.2 Atómová ekonomia

Atómová ekonomia (skrátene „AE“, z angl. „Atom Economy“), ako princíp zelenej chémie, sa zaoberá nielen množstvom vzniknutého produktu, ale aj množstvom premenených východiskových látok. Hľadá spôsob, ako premeniť čo najviac reaktantov na hlavný produkt a obmedziť tak množstvo odpadu.

Zaoberá sa zmenou reakcií typu:



Vysvetlivky:

„A“ a „B“ – východiskové látky,

„C“ – hlavný produkt,

„D“ – vzniknutý odpad.

B. Trost ako prvý použil pojem AE, ktorá vyjadruje účinnosť využitia reaktantov počas chemickej reakcie. Je to teoretické číslo vyjadrované v percentách (%). Ide o pomer mólovej hmotnosti (M) atómov produktu k súčtu mólovej hmotnosti atómov všetkých vytvorených látok počas reakcie (1).

$$AE = \frac{M(\text{produkt}) \cdot 100}{\Sigma M(\text{produkt})} \quad (1)$$

Hodnota AE nižšia ako 100 % znamená, že niektoré atómy reaktantov sa premenili na produkt a zvyšok sa stal vedľajším produktom, teda odpadom.

Reálna hmotnosť odpadu sa určuje pomocou E-faktora (z angl. „*Environmental factor*“), ktorý vyjadrujeme ako pomer hmotnosti vzniknutého odpadu v kg ku hmotnosti vzniknutého produktu rovnako v kg (2).

$$E - faktor = \frac{m(\text{odpad}) [kg]}{m(\text{produkt}) [kg]} \quad (2)$$

Najoptimálnejšia hodnota E-faktora je 0. Čím je hodnota vyššia, tým väčšie množstvo odpadu vzniká a v takom prípade chemická reakcia negatívne vplýva na životné prostredie.

Ako posledné je dôležité si spomenúť aj využitelnosť atómov (skrátene „AU“, z angl. „*Atom Utilization*“), čo je ďalší pojem, ktorý sa využíva v zelenej chémii. Vyjadruje podiel východiskových látok vo vzniknutom produkte (3). V súčasnosti patrí medzi veľmi dôležité informácie v priemyselnej výrobe a je vhodným ukazovateľom hlavne pre nové trendy v chémii.

$$AU = \frac{M(\text{produkt}) \cdot 100}{\sum M(\text{reaktant})} \quad (3)$$

Ako príklad môžeme uviesť výrobu oxiránu, ktorý patrí medzi dôležité suroviny v priemyselnej výrobe, ktorý sa pôvodne vyrábala chlórhydrínovým postupom z etylénu – **Schéma 3**.

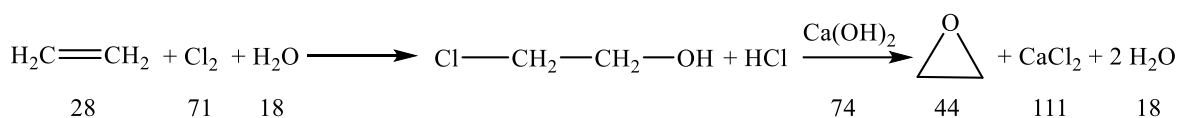


Schéma 3. Chlórhydrínový postup výroby oxiránu (*Zdroj: Didaktika.eu*)

V dnešnej dobe sa však oxirán vyrába „zelenou“ cestou, a to pomocou katalýzy. Ide o oxidáciu etylénu kyslíkom pri teplote 250 – 270 °C a tlaku 1,5 – 2,5 MPa. Reakcia prebieha za prítomnosti strieborného katalyzátora – **Schéma 4**.

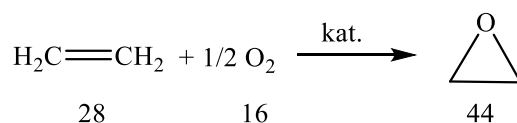


Schéma 4. Zelený postup výroby oxiránu (*Zdroj: Didaktika.eu*)

V **Tabuľke 3** uvádzame porovnanie hodnôt (AE, AU, E) pri výrobe oxiránu pôvodnou syntetickou cestou a cestou zelenej chémie. V prípade tzv. chlórhydrínového postupu, ale aj zelenej chémie, je hodnota využiteľnosti atómov a atómovej ekonomiky je rovnaká (23 %). E-faktor má však pri chlórhydrínovom postupe hodnotu 34. „Zelený“ spôsob výroby etylénoxidu je tak výhodnejší. E-faktor má hodnotu 1 a atómová ekonomia, tak ako aj využiteľnosť atómov nadobudla hodnotu 100 %.

Tabuľka 3. Porovnanie hodnôt (AE, AU, E) pri výrobe oxiránu (Zdroj: Didaktika.eu)

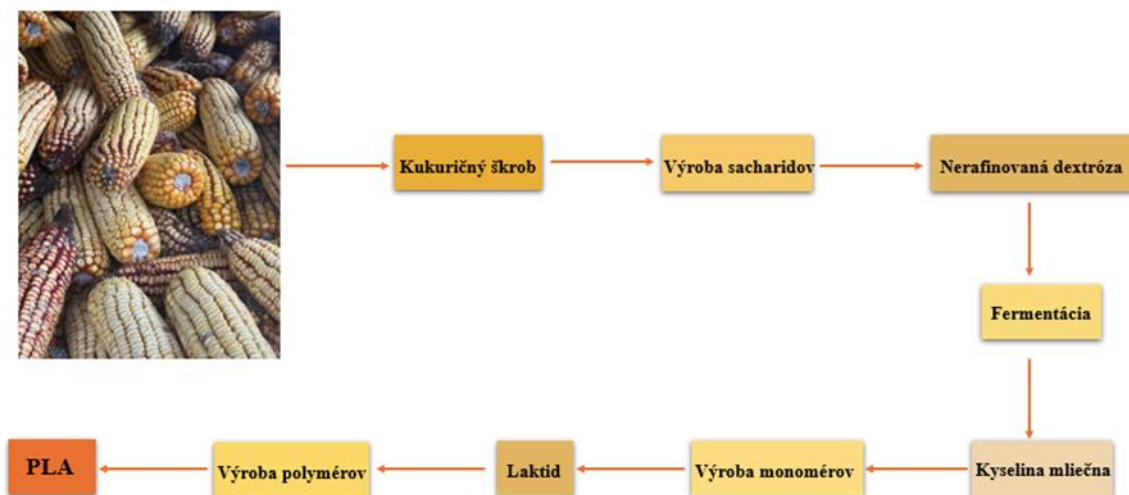
	Chlórhydrínový postup	„Zelený“ postup
Výpočet AE	$AE = \frac{44 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) * 100}{44 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) + 111 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) + 18 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}$ $AE = 23 \%$	$AE = \frac{44 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) * 100}{44 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}$ $AE = 100 \%$
Výpočet AU	$AU = \frac{44 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) * 100}{28 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) + 71 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) + 18 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) + 74 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}$ $AU = 23 \%$	$AU = \frac{44 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) * 100}{28 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) + 16 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}$ $AU = 100 \%$
Výpočet E	$E = \frac{44 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}{129 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}$ $E = 34$	$E = \frac{44 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}{44 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}$ $E = 1$

2.4.3 Menej riskantné chemické syntézy

Navrhovanie bezpečnejších chemických postupov a ich implementácia do praxe patrí medzi základné ciele zelenej chémie. Dôležitým princípom je tiež postupná náhrada látok, ktoré sú nebezpečné pre životné prostredie a živé organizmy, za menej škodlivé alebo úplne neškodné alternatívy. Chemické reakcie sa preto upravujú tak, aby bol zachovaný vznik požadovaného produktu, no zároveň sa znižovali riziká spojené s priebehom reakcie.

V prípadoch, keď nie je možné reakčný postup ekologicky upraviť, sa kladie dôraz na zvýšenie bezpečnosti práce a prevenciu možných nebezpečenstiev. Z tohto dôvodu je nevyhnutné už pri plánovaní experimentu dôkladne zvážiť výber chemickej reakcie s dôrazom na bezpečnosť a zdravie a posúdiť možnosti jej ekologickejšej alternatívy.

Príkladom úspešného uplatnenia princípov zelenej chémie je spoločnosť *NatureWorks LLC* (v minulosti *Cargill Dow*), ktorá v roku 2002 získala Prezidentskú cenu za zelenú chémiu. Spoločnosť vyvinula výrobu kompostovateľného polyméru, čím výrazne znížila používanie toxických a nebezpečných organických látok pri výrobe plastov – **Obrázok 4**.



Obrázok 4. Výroba kompostovateľného polyméru (Zdroj: Vink et. al., 2004)

Na základe tohto princípu navrhli aj K. M. Draths a J. W. Frost nový spôsob syntézy kyseliny adipovej (hexándiovej), a to využitím glukózy ako východiskovej suroviny. Táto zlúčenina sa v priemysle využíva vo veľkých množstvách napr. pri výrobe nylónu, polyuretánov či mazív.

V laboratórnych podmienkach sa kyselina adipová najčastejšie pripravuje oxidáciou cyklohexanolu pomocou kyseliny dusičnej (**Schéma 5**). V priemyselnej výrobe sa však tradične využíva ako východisková látka benzén, ktorý je významne toxický a predstavuje riziko pre ľudské zdravie aj životné prostredie. Kyselina dusičná je silná anorganická kyselina, ktorá v tejto reakcii pôsobí ako oxidačné činidlo.

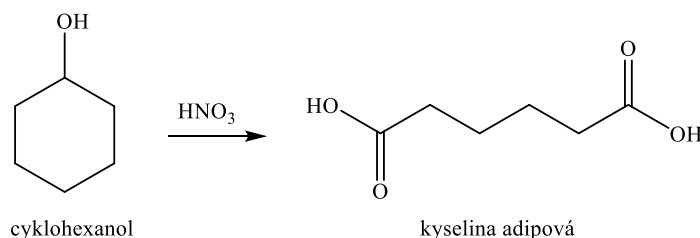


Schéma 5. Príprava kyseliny adipovej oxidáciou cyklohexanolu (Zdroj: Doble a Kruthiventi, 2007)

Podľa nového postupu sa používa ako východisková látka glukóza – **Schéma 6**.

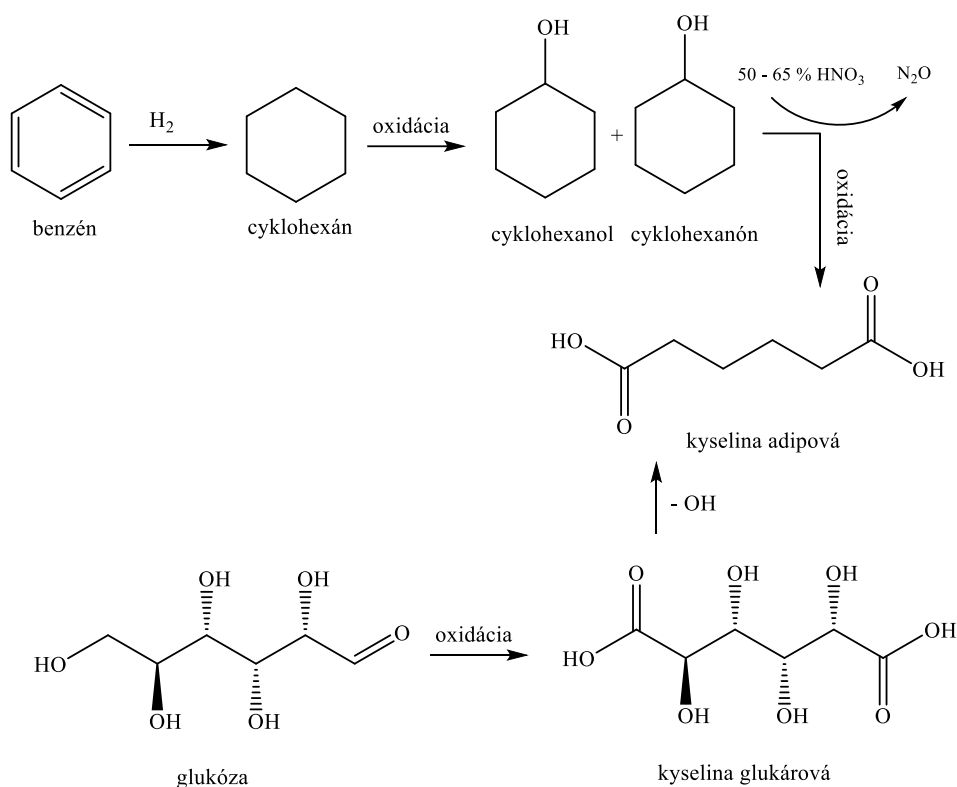


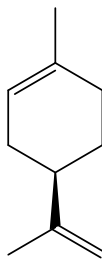
Schéma 6. Porovnanie prípravy kyseliny adipovej z benzénu a glukózy (Zdroj: Šibor a Kuchyňková, 2006)

Výhodou uvedeného syntetického postupu je, že glukóza predstavuje bezpečnú a zdravotne nezávadnú surovinu. Zároveň tento spôsob výroby spĺňa aj ďalší princíp zelenej chémie, konkrétne využívanie obnoviteľných surovín. Glukóza je totiž získavaná z prírodných zdrojov, a preto patrí medzi obnoviteľné vstupné látky.

2.4.4 Navrhovanie bezpečnejších chemikálií

Jedným z náročnejších princípov zelenej chémie, najmä z praktického hľadiska, je navrhovanie a používanie bezpečnejších chemických látok, teda menej toxických alternatív v chemických reakciách. Hlavným cieľom je obmedziť využívanie nebezpečných chemikálií a zároveň zvýšiť efektívnosť procesov. Popritom je dôležité zachovať požadovanú funkciu činidiel v reakciách a technologických postupoch.

Za bezpečnú chemikáliu sa považuje látka, ktorá pochádza z prírodných a obnoviteľných zdrojov a je zároveň ľahko odbúrateľná v životnom prostredí. Do tejto skupiny možno zaradiť napr. esenciálne oleje získavané z rastlín, ktoré sa bežne využívajú v domácnostiach. Okrem toho sa uplatňujú aj v čistiacich prostriedkoch, či v rôznych potravinárskych produktoch a nápojoch. Ako príklad môžeme uviesť limonén, ktorý patrí medzi monocyklické monoterpény – **Obrázok 5**.



limonén

Obrázok 5. Vzorec limonénu (Zdroj: Beasley, 1992)

Limonén je hlavnou zložkou citrusových esenciálnych olejov (približne 90 – 95 %). Nachádza sa najmä v šupkách citrusových plodov, pričom ide o prírodnú látku s významným chemickým potenciálom. Využíva sa najmä v potravinárstve a kozmetickom priemysle, no svoje uplatnenie našiel aj v laboratórnej praxi, kde môže nahrádzať toxickejšie rozpúšťadlá, napr. xylén. Ten je pri vyšších koncentráciách nebezpečný, pretože tlmí činnosť centrálného nervového systému a dýchacieho centra, čo môže viesť až k smrteľným následkom v dôsledku nedostatku kyslíka. Z tohto dôvodu predstavuje limonén ekologickejšiu a bezpečnejšiu alternatívu viacerých chemických rozpúšťadiel.

Ďalšie chemické využitie limonénu spočíva v jeho premene na iné hodnotné zlúčeniny. Dehydrogenáciou sa z neho pripravuje *p*-cymén, ktorý sa uplatňuje vo farmaceutickom priemysle a pri výrobe parfumov. Jeho oxidáciou je možné získať kyselinu tereftálovú, ktorá predstavuje dôležitú surovinu pri výrobe polyesterov – **Schéma 7**.

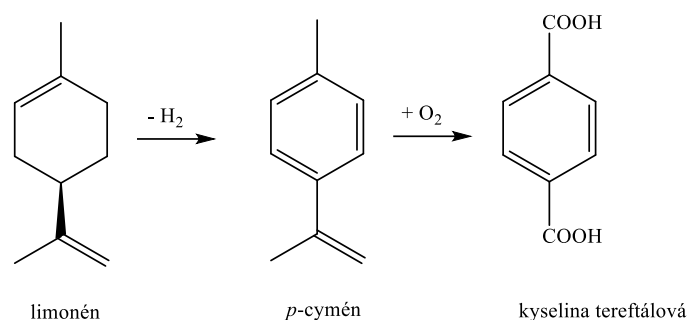
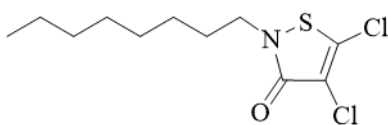


Schéma 7. Príprava *p*-cyménu a kyseliny tereftálovej z limonénu (Zdroj: Šibor a Kuchyňková, 2006)

V rámci tohto princípu zelenej chémie sú nevyhnutné nielen chemické vedomosti, ale aj poznatky z toxikológie a environmentálnych vied. Jeho hlavným cieľom nie je iba nahrádzanie nebezpečných chemikálií bezpečnejšími alternatívami, ale aj vývoj produktov s nižšou toxicitou a menším dopadom na životné prostredie. Tento prístup sa uplatnil napr. pri vývoji moderných insekticídov a pesticídov, ktoré pôsobia selektívne na konkrétne druhy organizmov a po použití sa rozkladajú na látky neškodné pre životné prostredie.

Príkladom je využitie organických zlúčenín cínu, ktoré sa v minulosti používali na povrchovú úpravu trupov lodí, aby zabránili usádzaniu morských rias a planktónu. Dnes sú však tieto látky nahrádzané ekologickejšou a menej toxickou alternatívou s názvom „*Sea-Nine 211*“. Táto zlúčenina je účinná proti morským baktériám, riasam aj drobnému planktónu, pričom má výrazne nižší negatívny vplyv na životné prostredie – **Obrázok 6**.



Obrázok 6. Štruktúra 4,5-dichlór-2-oktylizotiazol-3-ónu („*Sea-Nine 211*“) (Zdroj: Wanisa et. al., 2020).

2.4.5 Bezpečnejšie rozpúšťadlá a pomocné látky

Rozpúšťadlá a rôzne pomocné látky s odlišnými fyzikálno-chemickými vlastnosťami sú nevyhnutnou súčasťou mnohých chemických procesov. Problémom však je, že práve tieto látky často významne prispievajú k znečisťovaniu vody a ovzdušia. Ich náhrada vhodnejšími alternatívami býva preto zložitá a vyžaduje dôkladné posúdenie viacerých faktorov.

Pri výbere alebo hľadaní náhradných rozpúšťadiel sa zohľadňujú ich vlastnosti, ako sú toxicita, ekologická záťaž, energetická náročnosť výroby či spotreba, ale aj výbušnosť a celková bezpečnosť pri manipulácii. Z environmentálneho hľadiska by bolo najideálnejšie úplne vylúčiť používanie rozpúšťadiel v chemických procesoch, čo je však v súčasnosti len ťažko realizovateľné.

Podľa EHS (z angl. „*Environmental Health & Safety*“) sa delia rozpúšťadlá podľa rôznych faktorov na vhodné a nevhodné rozpúšťadlá.

Tieto faktory sú:

- „E“ (z angl. „*Environment*“) – environmentálny dopad na naše prostredie,
- „H“ (z angl. „*Health*“) – pôsobenie na zdravie,
- „S“ (z angl. „*Safety*“) – bezpečnosť práce.

Podľa LCA (z angl. „*Life Cycle Assessment*“) sa rozpúšťadlá rozdeľujú podľa ich „životného cyklu“, teda pôvodu, výroby a likvidácie, prípadne recyklácie rozpúšťadla –

Tabuľka 4.

Tabuľka 4. Príklady vhodných a nevhodných rozpúšťadiel podľa EHS a LCA

	Vhodné rozpúšťadlá	Nevhodné rozpúšťadlá
EHS	metanol etanol	formaldehyd kyselina octová
LCA	heptán zmes hexánov	cyklohexanón butyl-acetát

Medzi najvhodnejšie rozpúšťadlá patrí voda, pretože:

- z finančného hľadiska ide o nenáročnú látku,
- environmentálne je akceptovateľná (aj jednotlivé biochemické procesy v živých organizmoch prebiehajú vo väčšine prípadov vo vodnom prostredí),
- má dostatočnú vodivosť a vysokú tepelnú kapacitu,

- konkrétne v organickej chémii je vhodná napr. pri Dielsových-Alderových reakciách, ktoré využívajú práve hydrofóbne efekty.

Okrem vody môžeme medzi vhodné rozpúšťadlá zaradiť napr. aj polyetylén glykoly, či iónové kvapaliny.

Piaty princíp zelenej chémie sa zameriava na vyhľadávanie takých alternatívnych reakčných postupov, pri ktorých sa využívajú menej toxické a ekologickejšie rozpúšťadlá, prípadne sa rozpúšťadlá úplne vynechávajú. Cieľom je minimalizovať environmentálnu záťaž spojenú s ich používaním.

Ako príklad možno uviesť modifikovanú Dielsovu–Alderovu reakciu, pri ktorej sa okrem bežných rozpúšťadiel, ako sú dimetylformamid alebo etylén glykol, môže ako alternatíva použiť aj voda – **Schéma 8**.

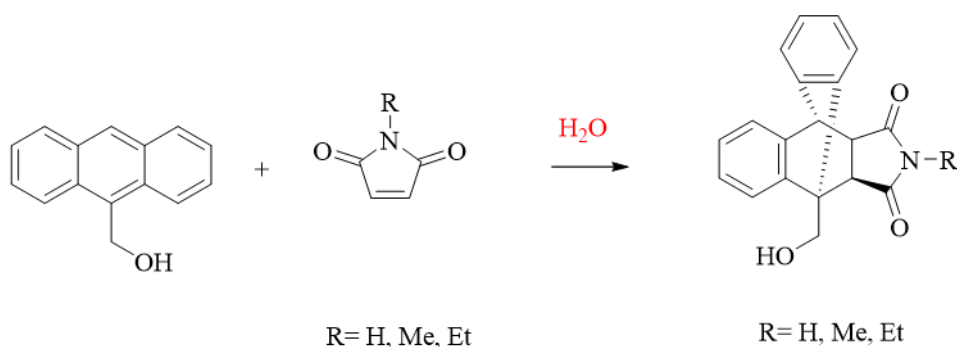


Schéma 8. Modifikovaná Dielsova-Alderova reakcia (Zdroj: Huffman et. al., 2004)

V **Prílohe 1 – 2** uvádzame Zoznam výstražných upozornení o nebezpečnosti chemických látok a ich zmesí ako aj Zoznam bezpečnostných opatrení za bezpečné zaobchádzanie s chemickými látkami a ich zmesami.

2.4.6 Efektívne využitie energie

Často si ani neuvedomujeme, ako často a v akej miere využívame energiu v každodennom živote v rôznych formách. Aj bežné činnosti, ako je príprava rannej kávy, či pečenie jedla, si vyžadujú spotrebu energie. Bez nej by tieto procesy neboli možné. Rovnaký princíp platí aj v chémii, biológii a ďalších vedných oblastiach. Výroba a využívanie elektrickej aj tepelnej energie pritom nepatria medzi lacné procesy.

V mnohých technologických a chemických postupoch sa využívajú syntézy energeticky náročné, kde je častokrát potrebné veľké množstvo energie. Chemici sa vo väčšine prípadov sústreďujú najmä na samotný priebeh reakcie, pričom nie vždy ich zaujíma technická stabilita ako napr. energetická náročnosť spojená s potrebou vysokých alebo nízkych teplôt, tlakov, či iných energetických vstupov.

V súčasnosti sa najviac energie získava zo spaľovania fosílnych palív (približne 82 %), ktoré predstavujú neobnoviteľný zdroj. Ich nadmerné využívanie vedie nielen k vyčerpaniu zásob, ale aj k zvyšovaniu koncentrácie oxidu uhličitého v atmosfére, čo negatívne ovplyvňuje životné prostredie. Významným spotrebiteľom energie je najmä priemysel, kde chemické procesy často prebiehajú za extrémnych podmienok, ako sú vysoké, či veľmi nízke teploty, vysoký tlak alebo použitie UV žiarenia.

Naopak, príroda dokáže chemické reakcie realizovať energeticky úsporne. Typickým príkladom je fotosyntéza, ktorá prebieha v rastlinách za normálneho tlaku a teploty, bez potreby dodatočných rozpúšťadiel či extrémnych podmienok.

Z tohto dôvodu je v zelenej chémii jedným z dôležitých cieľov znižovanie energetickej náročnosti chemických procesov. Takzvané „zelené tipy pre úsporu energie“ sú uvedené v **Tabuľke 5**.

Tabuľka 5. Zelené tipy pre úsporu energie

Kúrenie	Ohrev vody a varenie	Elektrika	Doprava
<p><u>Dodržiavanie doporučenej teploty:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - spánok 18°C - práca 20°C - učenie, čítanie 22°C <p><u>Zaťahovanie roliet na noc</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - udržiavanie tepla v miestnosti 	<p><u>Uprednostnenie sprchy</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - sprcha spotreba cca 40 l vody - vaňa spotreba cca 160 l vody <p><u>Ohrev vody rýchlovarnou kanvicou</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - rýchlejšie - lacnejšie <p><u>Ohrev jedla v mikrovlnnej rúre.</u></p>	<p><u>Vypínanie spotrebičov</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - TV, DVD pohotovostný režim 25W <p><u>Zhasínanie svetiel</u></p> <p>úspora 80 kW</p>	<p><u>Používanie MHD</u></p> <p><u>Pešia chôdza</u></p>

V súčasnosti sa v chemických procesoch využívajú aj alternatívne zdroje energie, napr. horúce oleje, elektrické vykurovanie alebo rôzne formy tepla. Tieto prístupy však často stále nedosahujú dostatočnú účinnosť a z hľadiska energetickej efektivity majú svoje obmedzenia.

2.4.7 Používanie obnoviteľných zdrojov energie

V prírode má všetko, čo vzniká, svoj význam. Zároveň sa všetko, čo je z nej odobraté, dokáže určitým spôsobom znovu vrátiť. Ide o prepracovaný systém rovnováhy, ktorý si príroda prirodzene udržiava sama. Situácia sa mení, keď do tohto systému zasahuje človek, pretože svojou činnosťou ho narúša. Často využívame prírodné zdroje, ktoré označujeme ako neobnoviteľné. Patria sem napr.: ropa, zemný plyn a ďalšie suroviny. Tieto látky následne premieňame na produkty, ktoré môžu životné prostredie poškodzovať, hoci ich paradoxne vnímame ako prírodné bohatstvo. Ide o koncentrované zdroje energie, ktoré umožňujú rýchly, no často nekontrolovaný rozvoj spoločnosti. Keďže ide o obmedzené zásoby, mali by sme myslieť aj na budúce generácie, ktoré by mali mať rovnakú možnosť ich využívania.

Využívanie obnoviteľných zdrojov energie má pritom pozitívny vplyv na rozvoj spoločnosti. Zaraďujeme sem napr. slnečnú, veternú, vodnú a geotermálnu energiu, ako aj energiu prílivu a odlivu, energiu morských vln či biomasu **Tabuľka 6** a **Tabuľka 7**.

Tabuľka 6. Využitie slnečnej energie

		Možnosti premeny slnečnej energie
Využitie slnečnej energie	Celková doba slnečného žiarenia (bez oblačnosti) je približne 1700 h za rok. Na 1 m ² dopadne v priemere okolo 1100 kWh energie vo forme slnečného žiarenia.	<i>Solárne elektrárne</i> – využitie solárnych kolektorov, premena slnečnej energie na elektrickú.
		<i>Solárne kolektory</i> – dnes sa už často inštalujú na strechy domov. Zachytávajú slnečnú energiu, ktorá je dostatočná na ohrev až 75% celoročnej spotreby teplej vody.
		<i>Fotovoltaické články</i> – v súčasnosti je to najrozšírenejší spôsob zachytávania svetelnej energie. Napríklad niektoré kalkulačky.

Tabuľka 7. Využitie energie vln, prílivu a odlivu

Zdroj energie	Mechanizmus a funkcia
Energia vln	Neustále vlny na našich vodách sú jedným z najväčších zdrojov energie. Ich využitie je zatiaľ vo fáze výskumu, avšak podľa odborníkov má vysoký potenciál. <i>Existujú 3 typy:</i> stabilne pripevnené zariadenie ku dnu; umiestnené na pobreží; ukotvené na dne, ale voľne pohybujúce sa na vlnách.
Energia prílivu a odlivu	Ide o energiu Mesiaca. Využíva sa väčšinou na miestach s vysokým prílivom (cca 10 m). Negatívum: súvisí so zasolovaním pôdy. Nejde o bezproblémovom zdroji.

Na využitie energie vody slúžia vodné elektrárne (hydroelektrárne), ktoré premieňajú silu prúdenia vody na elektrickú energiu. Prúdenie vody otáča turbíny hydroelektrárne aj rotor alternátora, ktorý vytvára elektrickú energiu. V takýchto elektrárnach sa používajú 3 druhy turbín: *Kaplanova* (má tvar vrtule a používa sa pri malých, stredných a aj väčších spádoch vody), *Francisova* (používa sa pre stredné a väčšie spády vody) a *Peltonova* turbína (používa sa pre väčšie spády vody, má lyžicovité lopatky).

Okrem energie získavanej pomocou turbín vo veterných, či vodných elektrárnach existujú aj ďalšie významné obnoviteľné zdroje. Patrí sem aj biomasa, ktorá zohráva dôležitú úlohu v energetickom využití prírodných materiálov.

Biomasa predstavuje organickú hmotu, ktorá vzniká zo živých organizmov. Obsahuje energiu zo Slnka, ktorú rastliny získavajú prostredníctvom fotosyntézy a ktorá sa následne uvoľňuje pri jej spaľovaní.

Medzi zdroje biomasy patrí:

- drevo a drevný odpad, ktorý sa využíva priamym spaľovaním,
- drevo a jeho zvyšky spracované lisovaním, mletím alebo drvením na tuhé palivá, napr. brikety, ktoré sa často používajú na vykurovanie alebo ohrev vody,
- potravinové zvyšky, hnoj a poľnohospodárske plodiny, ako napr. repka olejná, z ktorej sa vyrábajú biopalivá pre dopravné prostriedky, konkrétne bioetanol a bionafta.

Bioetanol sa využíva ako palivo do spaľovacích motorov alebo ako prídavok do benzínu na zlepšenie jeho vlastností. Vzniká alkoholovým kvasením rastlinných surovín, má vysoké oktánové číslo a prispieva k efektívnejšiemu spaľovaniu v motoroch. Jeho nevýhodou je však konkurencia s potravinárskou výrobou a potreba rozsiahlych monokultúr.

Bionafta sa získava spracovaním biomasy bohatej na triacylglyceridy. Po ich oddelení prebieha reakcia s alkoholom, pri ktorej vzniká metylester mastných kyselín a glycerol (**Schéma 9**). Metylestery mastných kyselín sa následne môžu využívať aj ako tzv. „zelené“ rozpúšťadlá.

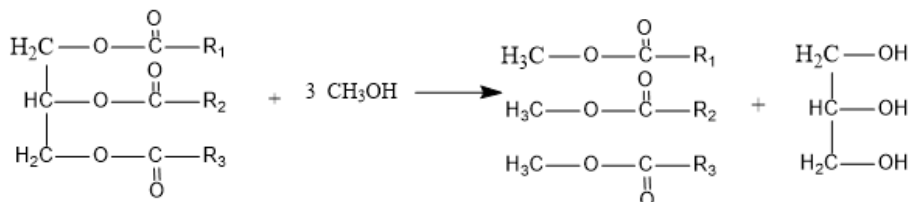


Schéma 9. Výroba bionafty (Zdroj: Sečková a Ganajová, 2012)

2.4.8 Obmedzenie používania derivátov

Deriváty sú zlúčeniny, ktoré vznikajú úpravou alebo zamenou funkčnej skupiny v pôvodnej molekule, čo vedie k zmene ich fyzikálnych aj chemických vlastností. Tento proces sa označuje ako derivatizácia.

Derivatizácia sa často využíva v prípadoch, keď je potrebné zabrániť reakcii určitých funkčných skupín s konkrétnymi činidlami počas syntézy. Jej cieľom je teda dočasná ochrana vybraných funkčných skupín pred nežiaducimi reakciami. Nevýhodou tohto postupu je však potreba ďalších krokov a chemikálií, ktoré sa následne stávajú odpadom. Jedným z riešení tohto problému sú enzymatické reakcie.

Reakcie katalyzované enzýmami nielenže skracujú celkový čas syntézy, ale zároveň vďaka svojej špecifickosti reagujú spravidla len s konkrétnou časťou molekuly.

Na základe tohto princípu sa podarilo zjednodušiť aj výrobu kyseliny 6-aminopenicilánovej (6-APA). Namiesto použitia chemických látok, ako sú CH_2Cl_2 , NH_3 , *n*-butanol a ďalšie, a extrémne nízkej teploty - 40 °C sa využil enzým *penicilín G acyláza* (**Obrázok 7**). V jeho prítomnosti prebieha reakcia vo vodnom prostredí pri izbovej teplote v jednom kroku, pričom vzniká 6-APA (**Schéma 10**). Počas procesu sa pridáva malé množstvo NH_3 na úpravu pH.

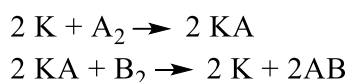


Schéma 11. Katalytická reakcia (Zdroj: Šibor a Kuchyňková, 2006)

Vysvetlivky:

„K“ – katalyzátor,

„A₂“, „B₂“ – východiskové látky,

„AB“ – produkt.

Katalýzu môžeme rozdeliť na:

- *homogénnu katalýzu* – systém, v ktorom katalyzátor a východiskové látky tvoria jednu fázu. Napr.: kyseliny a zásady.
- *heterogénnu katalýzu* – systém, v ktorom katalyzátor tvorí oddelenú fázu, väčšinou tuhú, kým východiskové látky sú v plynnej alebo v kvapalnej fáze. Reakcia prebieha na povrchu katalyzátora a rýchlosť reakcie závisí na veľkosti jeho povrchu. Napr.: oxidy (SiO₂, Al₂O₃), niektoré kovy (Pt, Pd, Au), atď.

*Ak je daná reakcia katalyzovaná niektorým zo vzniknutých produktov, tak hovoríme o *autokatalýze*.

Pri katalytických reakciách je výber vhodného katalyzátora kľúčový pre dosiahnutie vysokej účinnosti procesu. Pri jeho výbere je potrebné zohľadniť najmä špecifickosť a stereoselektivitu danej reakcie.

Rôzne výskumy preukázali, že napr. sírany obsahujúce železo alebo meď môžu pôsobiť ako veľmi účinné katalyzátory pri oxidačnej degradácii celulózového odpadu v prítomnosti 35 % peroxidu vodíka. V prípade síranu meďnatého sa zníženie hmotnosti odpadu dosiahlo až o 95,2 %, zatiaľ čo pri sírane železnom to bolo 87,8 %.

Ďalším príkladom je využitie hydrochinónu, ktorý slúži ako medziprodukt pri výrobe polymérov. Pôvodne sa získaval oxidáciou anilínu v prítomnosti MnO₂, pričom vznikal benzochinón, ktorý sa následne redukoval pomocou železa a kyseliny chlorovodíkovej –

Schéma 12.

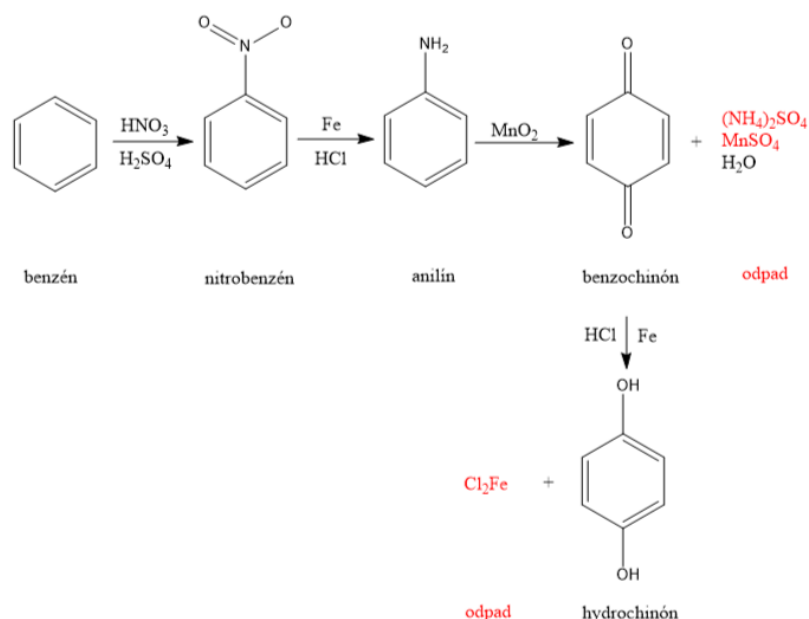


Schéma 12. Pôvodný postup výroby hydrochinónu (Zdroj: Singh a Pandey, 2015)

Pri novom postupe výroby hydrochinónu sa používa ako východisková látka *p*-diizopropylbenzén. Oxidáciou a následnou katalýzou východiskovej látky je možné tak získať potrebný produkt – **Schéma 13**.

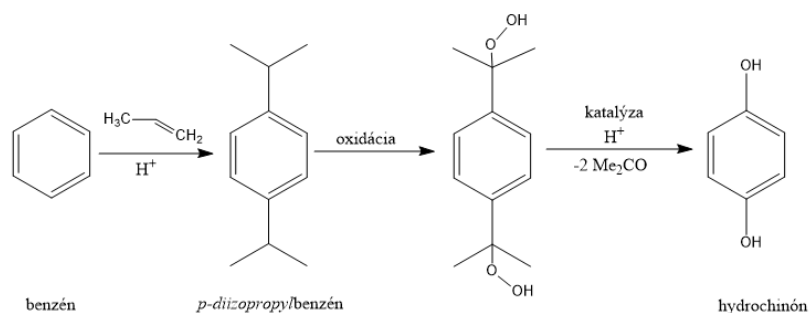


Schéma 13. Zelený postup prípravy hydrochinónu (Zdroj: Singh a Pandey, 2015)

Aj keď uvedená syntéza je považovaná za „zelený“ postup, tak v skutočnosti použitý benzén na prípravu *p*-diizopropylbenzenu má karcinogénne účinky. Z tohto dôvodu bol hydrochinón pripravený novou syntetickou cestou a to vychádzajúc z D-glukózy. Reakcia je katalyzovaná enzýmami za prítomnosti *glukóza-oxidázy*. Výťažok hydrochinónu v tomto prípade je takmer 100 % – **Schéma 14**.

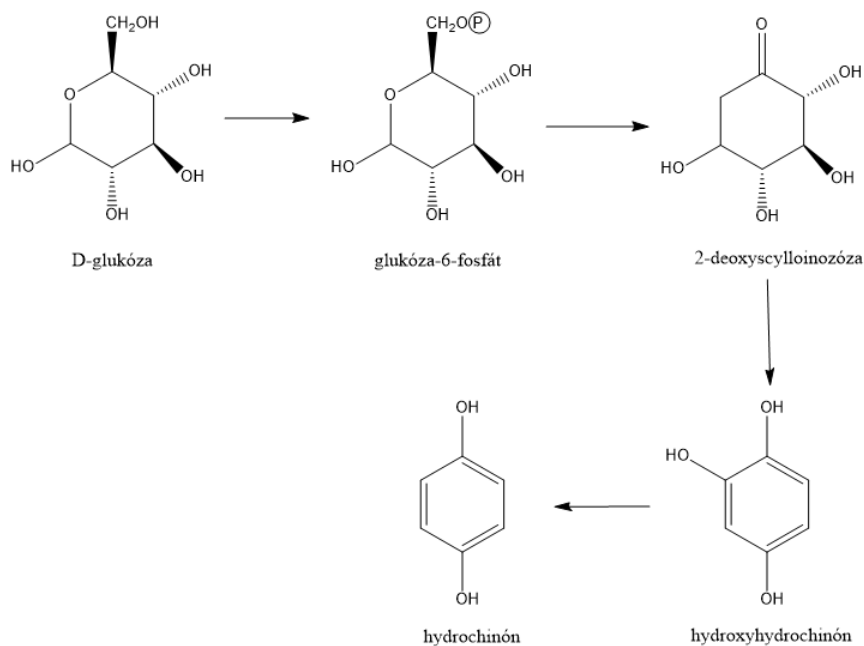


Schéma 14. Príprava hydrochinónu z D-glukózy (Zdroj: Singh a Pandey, 2015)

Pomerne nedávno však boli vyvinuté tzv. nanokatalyzátory. Tieto systémy, zahrňujúce paramagnetické jadro, umožňujú rýchlejší priebeh chemických reakcií s vynikajúcim výt'azkom produktu s jednoduchou separáciou a regeneráciou katalyzátora.

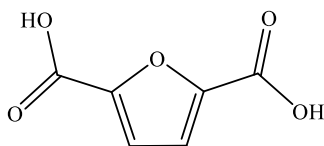
2.4.10 Navrhovanie degradácie chemických látok

Dôležitým pojmom v rámci tohto princípu je biologická degradácia (biodegradácia). Biodegradovateľnosť predstavuje schopnosť látok rozkladať sa pôsobením živých organizmov, ako sú baktérie či plesne, na jednoduchšie a environmentálne neškodné produkty, napr. CO₂, CH₄ alebo vodu. Zároveň sa pri takýchto látkach sleduje, aby ich rozklad nemal negatívny vplyv na životné prostredie. Z tohto dôvodu je snaha navrhovať chemické látky s touto vlastnosťou, aby sa po ich použití mohli prirodzene rozložiť na látky šetrné k prírode.

V súčasnosti sa čoraz viac využívajú biodegradovateľné plasty, ako napr. kyselina polymliečna (PLA – z angl. „*polylactic acid*“) alebo polyhydroxybutyrát (PHB – z angl. „*polyhydroxybutyrate*“).

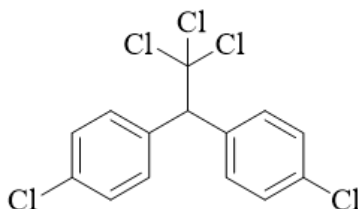
Tieto materiály sa vyrábajú prevažne z biomasy, teda z obnoviteľných zdrojov. Významným environmentálnym problémom však zostávajú PET fľaše, ktoré sú prakticky nerozložiteľné a môžu sa iba recyklovať. Ich prirodzený rozklad trvá približne 450 až 500 rokov. Ako alternatívne riešenie sa uvádza kyselina furán-2,5-dikarboxylóvá, ktorá je základnou stavebnou zložkou polyetylénfuranoátu (PEF – z angl. „*polyethylene furanoate*“),

často označovaného ako „plast budúcnosti“ – **Obrázok 9**. Na jeho výrobu sa využíva lignín, vďaka čomu je možné dosiahnuť 100 % rastlinný pôvod materiálu.



Obrázok 9. Vzorec kyseliny furán-2,5-dikarboxylovej (Zdroj: Morão a Bie, 2019)

Dobrym príkladom je tiež dichlórdifenyltrichlóretán (skrátene DDT), ktorý je veľmi účinným pesticídom, avšak predstavuje vysoké riziko v prírodnom prostredí – **Obrázok 10**.



Obrázok 10. Štruktúra DDT (Zdroj: Dey a Sepay, 2021)

DDT je látka, ktorá sa hromadí v tukových tkanivách a môže sa šíriť na veľké vzdialenosti vo vrchných vrstvách atmosféry. USA už dlhodobo nepoužívajú DDT, čím znížili jeho koncentráciu v prostredí, avšak stále pretrvávajú zvyšky tejto látky z predchádzajúceho používania.

2.4.11 Kompletná analýza chemických procesov

Cieľom tohto princípu je zabezpečiť kontrolu chemických procesov prebiehajúcich v laboratóriách aj v priemyselných závodoch. Zároveň sa kladie dôraz na prevenciu vzniku odpadu a toxických látok už v priebehu samotných reakcií. Počas chemických syntéz môže dochádzať k zmenám reakčných podmienok, ako sú zvýšenie teploty alebo tlaku, zmena pH systému či únik nebezpečných látok, čo môže viesť k vážnym haváriám.

Z tohto dôvodu je najefektívnejším riešením predchádzať takýmto situáciám. To sa dosahuje dôkladnou analýzou použitých látok a priebehu chemických procesov. Na tieto účely sa využívajú napr. metódy ako tenkovrstvová chromatografia (TLC). Súčasne sa neustále

vyvíjajú nové analytické postupy a zariadenia, ktoré však musia spĺňať zásady a požiadavky zelenej chémie.

Dôraz sa kladie hlavne na to, aby:

- pri použití takéhoto zariadenia nevznikal odpad alebo škodlivé látky,
- zariadenie mohlo byť používané kdekoľvek,
- vzorky boli vyhodnotené okamžite,
- manipulácia so zariadením bola jednoduchá.

2.4.12 Bezpečnosť chemických procesov / princíp bezpečnosti

Cieľom posledného princípu je predchádzať výbuchom, haváriám, požiarom a iným mimoriadnym udalostiam, ktoré by mohli ohroziť ľudské zdravie aj životné prostredie. Tento princíp predstavuje zároveň základ všetkých zásad zelenej chémie, ale aj všeobecných pravidiel bezpečnej práce v chemických laboratóriách.

V priebehu histórie došlo k viacerým závažným haváriám, ktoré výrazne ovplyvnili životné prostredie.

Medzi známe príklady patrí:

- Bhópál v Indii (1984), kde došlo k úniku metylizokyanátu,
- Baia Mare v Rumunsku (2000), kde sa uvoľnili kyanidy, meď a ďalšie ťažké kovy,
- povodie rieky Doce v Brazílii (2015), zasiahnuté únikom toxického materiálu s obsahom arzénu a ortuti,
- Kalifornská univerzita v Los Angeles (2008), kde študentka pri práci s *tert*-butyllítium (*t*-BuLi) zomrela v dôsledku vážnych popálenín spôsobených absenciou ochranných pomôcok.

Podobná havária sa nevyhla ani Slovensku, keď v roku 2010 došlo k výbuchu v podniku DUSLO Šaľa. Podľa dostupných informácií bol príčinou nehody nedostatočný tesniaci spoj na príruby vysokotlakového rozvodu syntézneho plynu.

Práve kvôli takýmto nehodám a haváriám, ktoré sa bohužiaľ stali v nedávnych časoch, je dôležité, aby sme si uvedomili, že *ľudstvo je súčasťou prírody* a mali by sme ju brať ako „Vzor nášho bežného života“ a nie ako samozrejmosť.

„Zelení“ chemici sa v súčasnosti snažia zaviesť do praxe metódy a nástroje, ktoré spĺňajú pravidlá a kritériá predchádzajúcich princípov – **Tabuľka 8**.

Tabuľka 8. Pravidlá zelenej chémie

Najdôležitejšie pravidlá zelenej chémie
• Maximálne využitie množstva reagujúcich látok.
• Uprednostnenie syntéz s minimálnym vznikajúcim odpadom.
• Výroba a využitie menej škodlivých látok.
• Bezpečnosť procesov.
• Využívanie obnoviteľných zdrojov.
• Čo najväčšia účinnosť procesov.

Takéto nástroje a metódy, ktoré spĺňajú tieto pravidlá sa využívajú už aj dnes a patria sem:

- guľové mlyny,
- mikrovlnné reaktory,
- ultrazvuky,
- katalýza a biokatalýza,
- fotochémia

3 Metódy zelenej chémie

Zelená chémia predstavuje moderný prístup v chemickom výskume a priemysle, ktorý sa zameriava na navrhovanie procesov a produktov s cieľom minimalizovať alebo úplne eliminovať používanie a tvorbu nebezpečných látok. Tento prístup vychádza z princípov udržateľného rozvoja a kladie dôraz na ochranu životného prostredia aj ľudského zdravia.

V rámci tejto oblasti sa rozvíjajú rôzne metódy a technologické postupy, ktoré umožňujú efektívnejšie a šetrnejšie uskutočňovanie chemických reakcií. Ich cieľom je zvýšiť energetickú efektívnosť, znížiť spotrebu rozpúšťadiel a surovín, ako aj obmedziť vznik odpadu. Tieto prístupy zároveň často využívajú alternatívne zdroje energie a inovatívne reakčné podmienky. Metódy zelenej chémie tak predstavujú súbor moderných stratégií, ktoré prispievajú k rozvoju ekologicky prijateľnejších chemických procesov a podporujú prechod smerom k udržateľnejšej chémii.

3.1 Zelené rozpúšťadlá v organickej chémii (tradičné rozpúšťadlá, alternatívy)

Hlavným cieľom „zelených“ metód a moderných technologických prístupov v chémii je napĺňanie princípov zelenej chémie, najmä 12 základných princípov. V praxi ide predovšetkým o minimalizáciu spotreby energie, obmedzenie množstva používaných chemikálií a zníženie tvorby odpadu. Tieto prístupy majú významný ekologický aj technologický prínos, pretože zvyšujú bezpečnosť chemických procesov, znižujú riziko expozície nebezpečným látkam a zároveň môžu zlepšovať efektívnosť reakcií, teda výťažnosť požadovaných produktov.

Jednou z kľúčových oblastí zelenej chémie je aj vývoj a využívanie ekologickejších rozpúšťadiel, ktoré patria medzi základné princípy tohto smeru. V organickej chémii sa tradične používajú organické rozpúšťadlá, ktoré však prinášajú viacero environmentálnych a zdravotných rizík.

Medzi ich hlavné nevýhody patrí:

- vysoká horľavosť a s tým spojené riziko požiarov a výbuchov,
- toxické a často aj karcinogénne účinky na živé organizmy,
- prchavosť a tým prispievajú k znečisťovaniu ovzdušia,
- dlhodobá environmentálna záťaž pri ich likvidácii.

Z týchto dôvodov sa v súčasnosti intenzívne vyvíjajú a zavádzajú alternatívne, tzv. „zelené“ rozpúšťadlá. Medzi najvýznamnejšie patria superkritické kvapaliny, voda a iónové kvapaliny.

Superkritické kvapaliny vznikajú pri prekročení kritickej teploty a tlaku danej látky, pričom získavajú vlastnosti medzi kvapalinou a plynom. Najčastejším využívaným príkladom je superkritický oxid uhličitý (CO_2), ktorý je netoxický, nehorľavý a po reakcii sa dá jednoducho odstrániť znížením tlaku. Zároveň je jeho využitie výhodné aj z environmentálneho hľadiska, keďže CO_2 je relatívne dostupný a môže byť recyklovaný v uzavretých systémoch.

Voda predstavuje najekologickejšie rozpúšťadlo, keďže je netoxická, nehorľavá a prirodzene sa vyskytuje v životnom prostredí. Jej využitie však závisí od rozpustnosti organických látok a reakčných podmienok.

Iónové kvapaliny sú zlúčeniny tvorené iónmi, ktoré majú veľmi nízku teplotu topenia, často pod $100\text{ }^\circ\text{C}$. Vďaka tomu sú kvapalné pri relatívne nízkych teplotách a vykazujú unikátne fyzikálno-chemické vlastnosti, ako je nízka prchavosť a vysoká tepelná stabilita. Príkladom iónovej kvapaliny je etyl-amónium nitrát. Ich nevýhodou však môže byť vyššia cena a zatiaľ nie vždy dostatočne preskúmaná dlhodobá environmentálna bezpečnosť.

Celkový trend v oblasti zelenej chémie preto smeruje k nahrádzaniu klasických organických rozpúšťadiel takými alternatívami, ktoré minimalizujú negatívny dopad na životné prostredie a zároveň zachovávajú alebo zlepšujú účinnosť chemických procesov.

3.2 Gul'ové mlyny

Ku správne mu priebehu chemických reakcií je často potrebné dodanie energie, a to najmä v prípade, že je cieľom zvýšiť rýchlosť reakcie alebo zabezpečiť jej samotný priebeh. Energia môže byť do reakčného systému dodaná viacerými spôsobmi, medzi ktoré patria:

- elektrická energia (elektrochémia),
- kavitačné procesy (hydrodynamické javy),
- mechanická energia (mechanochémia).

V prípade mechanochemie sú chemické reakcie iniciované priamym pôsobením mechanickej energie. Tento prístup predstavuje moderný a ekologický spôsob aktivácie reakcií bez potreby použitia rozpúšťadiel alebo vysokých teplôt.

Typickým zariadením využívaným v mechanochemii sú gul'ové mlyny, ktoré pracujú na princípe intenzívneho trenia a nárazov. Vo vnútri mlyna sa nachádzajú drviace guľičky, ktoré

spôsobujú mechanické narúšanie častíc, ich zmenšovanie a zároveň zväčšenie aktívneho povrchu. Počas tohto procesu dochádza k mechanochemickej aktivácii látok, pri ktorej sa mení ich štruktúra a zvyšuje sa ich reaktivita. Výhodou tejto metódy je, že sa dá použiť pri širokom spektre chemických reakcií.

Výskumy „zelenej“ chémie potvrdzujú účinnosť tohto prístupu na viacerých modelových reakciách. Ako príklad možno uviesť aldolovú reakciu cyklohexanónu s *o*-, *m*- a *p*-nitrobenzaldehydom (**Schéma 15**). Výsledky ukázali nielen zvýšenie výťažkov jednotlivých reakcií, ale predovšetkým výrazné skrátenie reakčného času (**Tabuľka 9**).

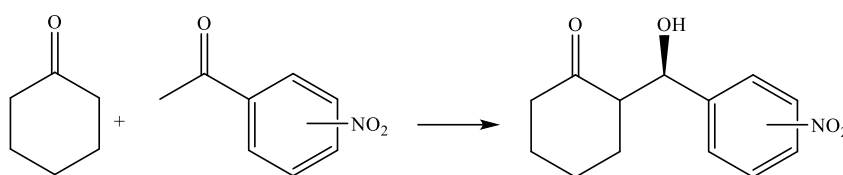


Schéma 15. Aldolová reakcia cyklohexanónu s *o*-/*m*-/*p*-nitrobenzaldehydom (Zdroj: Egorov et al. 2020)

Tabuľka 9. Porovnanie výsledkov aldolovej reakcie (Zdroj: Egorov et al. 2020)

	<i>o</i> -nitrobenzaldehyd		<i>m</i> -nitrobenzaldehyd		<i>p</i> -nitrobenzaldehyd	
	Guľový mlyn	Jednoduché miešanie	Guľový mlyn	Jednoduché miešanie	Guľový mlyn	Jednoduché miešanie
Čas	5,5 h	96 h	7 h	16 h	7 h	36 h
Výťažok	99 %	98 %	94 %	89 %	97 %	89 %
Anti/ Syn	89:11	87:13	88:12	82:18	93:7	91:9
ee	94 %	94 %	> 99 %	98 %	97 %	97 %

3.3 Ultrazvuk

Pod pojmom ultrazvuk označujeme mechanické zvukové vlny s frekvenciou približne 16 kHz až 500 MHz, teda nad hranicou počuteľnosti ľudského ucha. Keďže tieto vlny sa nachádzajú mimo rozsahu nášho sluchu, človek ich nie je schopný vnímať. Napriek tomu majú široké využitie v rôznych oblastiach, ako je medicína (napr. diagnostické zobrazovanie), priemyselné čistenie, ultrazvuková terapia, ale aj v modernej oblasti chemického výskumu, známej ako sonochemia.

V chemických reakciách predstavuje ultrazvuk alternatívny zdroj energie, ktorý umožňuje tzv. sonochemickú aktiváciu reakčných systémov. Jeho pôsobenie je založené najmä na vzniku kavitácie, teda tvorbe a následnom zániku mikroskopických bublín v kvapalnom prostredí. Tento jav vedie k lokálnym extrémnym podmienkam, ako sú vysoké teploty a tlaky, ktoré výrazne urýchľujú chemické reakcie.

V porovnaní s klasickým zahrievaním prináša využitie ultrazvuku viacero výhod. Medzi najvýznamnejšie patrí zníženie energetickej náročnosti procesu, skrátenie reakčného času, zlepšenie výtťažnosti reakcií a v mnohých prípadoch aj vyššia selektivita. Zároveň sa reakcie často uskutočňujú za miernejších podmienok, čo prispieva k vyššej bezpečnosti a šetrnosti voči životnému prostrediu.

Ako príklad možno uviesť reakciu metylesteru kyseliny salicylovej s hydrazínom, ktorá bola realizovaná tromi rôznymi spôsobmi: klasickým zahrievaním pri refluxe, pôsobením ultrazvuku a tiež pomocou mikrovlnného reaktora (**Schéma 16**). Porovnanie výsledkov uvedených v **Tabuľke 10** ukazuje, že použitie ultrazvuku výrazne skraca reakčný čas a zároveň vedie k vyššiemu výtťažku produktu v porovnaní s tradičnými metódami.

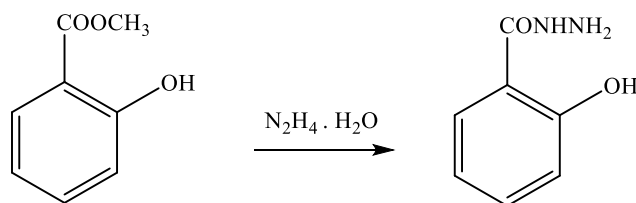


Schéma 16. Reakcia metylesteru kyseliny salicylovej s hydrazínom (*Zdroj: Chatel a Varma, 2021*)

Tabuľka 10. Porovnanie efektívnosti jednotlivých metód

Metóda	Reakčný čas	Výtťažok
<i>Reflux</i>	9 h	73 %
<i>Ultrazvuk (20 kHz, 50 W) a reflux</i>	1,5 h	79 %
<i>Mikrovlnné žiarenie (2,45 GHz, 200W)</i>	18 min.	80 %

3.4 Mikrovlnné reaktory

Mikrovlnné žiarenie je elektromagnetické žiarenie s frekvenciou približne 300 MHz až 30 GHz, čo zodpovedá vlnovým dĺžkam v rozmedzí od 1 mm do 1 m. V chemických procesoch predstavuje ďalší spôsob dodávania energie do reakčného systému, pričom jeho hlavným cieľom je urýchlenie priebehu chemických reakcií.

Tradične sa na zahrievanie reakčných zmesí používajú vodné alebo olejové kúpele, ktoré ohrievajú steny reakčnej nádoby, pričom teplo sa následne postupne prenáša do samotnej reakčnej zmesi vo varnej banke. Nevýhodou tohto spôsobu je pomalý prenos tepla, ako aj náročnejšia kontrola teploty v systéme. To môže viesť k lokálnemu prehrievaniu, čím sa zvyšuje riziko nežiaduceho priebehu reakcie, vrátane možnosti výbuchu, čo predstavuje nebezpečenstvo pre človeka aj životné prostredie.

Na rozdiel od toho mikrovlnné reaktory využívajú mikrovlnné žiarenie na priame ohrievanie reakčnej zmesi. Energia je tak dodávaná efektívnejšie, keďže dochádza k interakcii elektromagnetického žiarenia s molekulami látok, čo vedie k rýchlejšiemu a rovnomernejšiemu ohrevu.

Medzi hlavné výhody mikrovlnne indukovaných reakcií patrí:

- výrazné skrátenie reakčného času,
- rýchlejší nábeh požadovanej teploty,
- presnejšia a jednoduchšia regulácia teploty,
- nižšia spotreba energie,
- často aj vyššia výťažnosť reakcií.

Použitie multimódových mikrovlnných zariadení navyše umožňuje paralelnú realizáciu viacerých reakcií, čím sa zvyšuje efektívnosť laboratórnej práce.

Ako príklad možno uviesť oxidáciu toluénu pomocou manganistanu draselného (KMnO_4) znázornenú na **Schéme 17**. Za bežných laboratórnych podmienok prebiehala reakcia pri refluxe po dobu približne 10 až 12 hodín. V prípade využitia mikrovlnného reaktora sa však rovnaká reakcia uskutočnila už za približne 5 minút, čo výrazne demonštruje efektívnosť tohto spôsobu zahrievania.

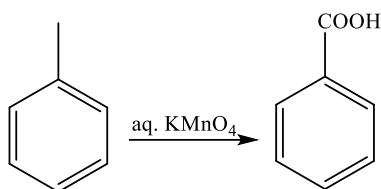


Schéma 17. Oxidácia toluénu (*Zdroj:* Chatel a Varma, 2021)

3.5 Katalýza a biokatalýza

Cieľom využívania katalýzy a biokatalýzy je najmä znižovanie tvorby odpadu a zvyšovanie efektivity chemických syntéz. V mnohých klasických reakciách sa používajú anorganické činidlá, ktoré síce zabezpečujú požadovaný priebeh reakcie, ale po jej ukončení často zostávajú ako vedľajšie produkty a odpad.

Medzi najčastejšie používané patria napr:

- pri redukciách: LiAlH_4 , NaBH_4 ,
- pri oxidáciách: KMnO_4 , MnO_2 ,
- Brønstedove kyseliny: H_2SO_4 , HF , H_3PO_4 ,
- Lewisove kyseliny: AlCl_3 , ZnCl_2 a ďalšie.

Použitie týchto látok však často nie je v súlade so zásadami zelenej chémie, najmä s princípom minimalizácie odpadu, keďže po reakcii sa stávajú nevyužitelným zvyškom, ktorý je potrebné následne spracovať alebo zneškodniť.

Jedným z riešení tohto problému je využitie biokatalýzy, teda použitie enzýmov ako prírodných katalyzátorov. Biokatalyzátory umožňujú priebeh reakcií za miernych podmienok a s výrazne nižším environmentálnym zaťažením.

Medzi hlavné výhody biokatalýzy patrí:

- výrazné zníženie množstva vznikajúceho odpadu,
- prebiehanie reakcií prevažne vo vodnom prostredí,
- nízka toxicita použitých systémov,
- nižšia energetická náročnosť reakcií,
- vysoká selektivita enzýmov,
- často vyššia výťažnosť požadovaných produktov.

Ako príklad možno uviesť redukciiu ketónov, ktorá umožňuje porovnanie klasického a katalytického prístupu. Pri nekatalyzovanej reakcii vzniká značné množstvo vedľajších produktov a odpadu, zatiaľ čo pri použití katalytických alebo biokatalytických podmienok je reakcia omnoho čistejšia a nevznikajú žiadne zbytočné vedľajšie látky (Schéma 18).

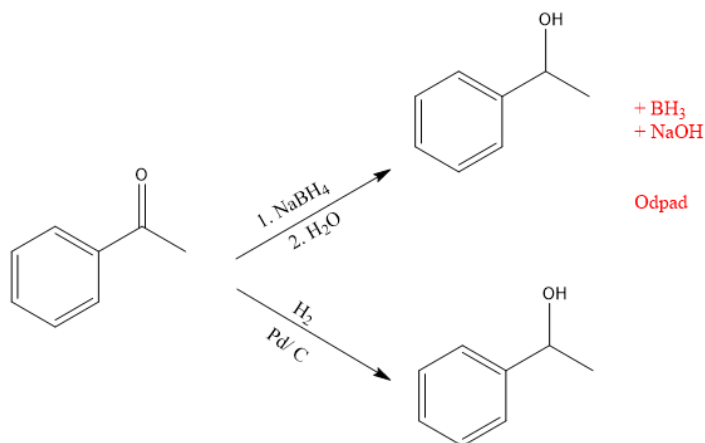


Schéma 18. Redukcia ketónov využitím katalyzátorov (Zdroj: Dalidovich a Palkovits, 2016)

3.6 Fotochémia

Slnčné žiarenie dopadá na zemský povrch v rôznej intenzite, pričom v niektorých oblastiach môže ročne dosiahnuť až približne 1500 hodín využiteľného slnečného svitu. Takéto lokality sú preto vhodné na zachytávanie a následné využívanie slnečnej energie, najmä prostredníctvom solárnych panelov.

Okrem energetického využitia sa slnečná energia uplatňuje aj v chemických procesoch. Touto oblasťou sa zaoberá vedecký odbor fotochémia, ktorý skúma chemické reakcie prebiehajúce pod vplyvom svetelného žiarenia. Pri týchto procesoch dochádza k absorpcii fotónov molekulami látok, pričom sa tieto molekuly dostávajú zo základného (energeticky nižšieho) stavu do excitovaného stavu. Na takýto prechod musí mať absorbovaný fotón dostatočnú energiu.

Z hľadiska fotochémie je obzvlášť významné žiarenie v oblasti vlnových dĺžok približne 200 až 700 nm, pretože jeho energia často zodpovedá excitačným energiám mnohých organických zlúčenín. Vďaka tomu je možné toto žiarenie efektívne využívať na riadenie chemických reakcií.

Ako príklad možno uviesť fotoacyláciu chinónov, ktorá predstavuje alternatívu k tradičnej Friedelovej–Craftsovej acylácii, pričom v mnohých prípadoch vykazuje vyššiu efektívnosť a šetrnejšie reakčné podmienky. Tento typ fotoacylácie bol prvýkrát opísaný H. Klingerom v roku 1891. Chinóny sú vhodnými východiskovými látkami, pretože dokážu absorbovať svetelné žiarenie s vlnovou dĺžkou nad 350 nm, čo im umožňuje efektívne zapojenie do fotochemických reakcií. Reakcia znázornená na **Schéme 19** poskytla výťažok až 84 %, čo potvrdzuje vysokú účinnosť tohto prístupu.

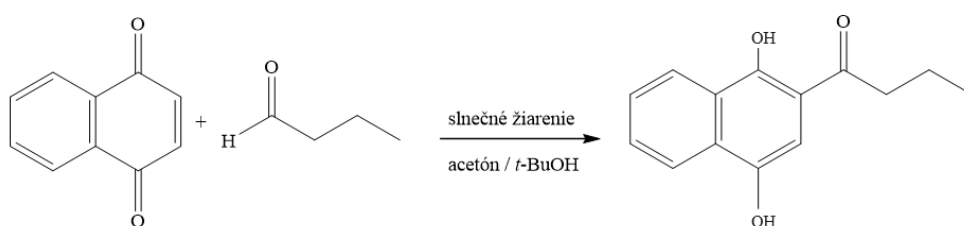


Schéma 19. Fotoacylácia 1,4-naftochinónu (*Zdroj: Oelgemöller et al., 2007*)

4 Otázky a úlohy k tematickým celkom

4.1 Organická chémia – otázky a úlohy

Otvorené otázky

1. V počiatkoch rozvoja organickej chémie boli látky rozdelené na 2 základné skupiny. Uveďte, ktoré to boli.

2. Vymenujte príklady látok, ktoré boli radené do skupiny organických látok, ktoré horia.

3. Vymenujte príklady látok, ktoré boli radené do skupiny organických látok, ktoré nehoria.

4. Vysvetlite, v čom spočívala vitalistická teória známa už v 17. storočí.

5. Napíšte, čo znamená v preklade slovné spojenie „*vis vitalis*“.

6. A. L. Lavoisier zistil, že organické látky sú zložené okrem 3 základných aj 2 ďalších často sa vyskytujúcich prvkov. Uveďte tieto prvky.

7. J. J. Berzelius zistil, že spájanie atómov v organických látkach je iné, ako pri tých anorganických. Napíšte, ako si predstavoval štruktúru týchto látok J. J. Berzelius.

8. V roku 1783 C. W. Sheele nasyntetizoval látku spaľovaním uhlíka z K_2CO_3 a NH_4Cl . O ktorú látku ide? Napíšte aj chemický vzorec.

9. Napíšte chemickú rovnicu prípravy KCN podľa C. W. Sheeleho.

10. Napíšte štruktúrny vzorec a názov látky, ktorú pripravil F. Wöhler zahriatím kyanatanu amónneho.

11. Napíšte, ktorú organickú látku považoval F. A. Kekulé za najjednoduchšiu aromatickú zlúčeninu.

12. Prelomovým krokom v organickej chémii bola úspešná syntéza močoviny uskutočnená v roku 1828. Zapište chemickú reakciu a uveďte, komu sa táto syntéza podarila.

13. Napíšte vzorec látky, ktorej zahriatím F. Wöhler pripravil močovinu.

14. Nakreslite štruktúru benzénu a jeho tzv. osciláciu medzi dvoma stavmi.

15. Van't Hoff a Le Bel vytvorili tetraedrický model uhlíka. Znázornite štruktúru metánu použitím tohto modelu.

16. Organické zlúčeniny sú súčasťou nášho života v každodennom živote. Uveďte 3 príklady.

17. V poslednej dobe sa udiali viaceré havárie. Viete, v ktorom indickom meste unikal metylizokyanátu.

18. V ktorom roku sa podarilo uskutočniť prelomovú syntézu močoviny?

19. Napíšte, v akej podobe bola dodávaná energia pri syntéze močoviny z kyanatanu amónneho.

20. Koľko organických zlúčenín je v súčasnosti známych?

Otázky s možnosťou výberu správnej odpovede

1. Do ktorých dvoch skupín boli radené látky v počiatkoch rozvoja organickej chémie?
 - a.) prírodné a neživé,
 - b.) kyseliny a zásady,
 - c.) drevo a oleje,
 - d.) horľavé a nehorľavé.

2. Ktoré 3 látky boli zaradené medzi horľavé v počiatkoch rozvoja organickej chémie?
 - a.) drevo,
 - b.) oleje,
 - c.) tuky,
 - d.) soľ.

3. Ktoré 3 látky boli zaradené medzi nehorľavé v počiatkoch rozvoja organickej chémie?
 - a.) kameň,
 - b.) olej,
 - c.) soľ,
 - d.) voda.

4. Význam „*vis vitalis*“ je:
- životoschopnosť,
 - životná sila,
 - životný štýl,
 - sila duše.
5. Tri prvky, ktoré považoval A. L. Lavoisier za základné stavebné prvky organických zlúčenín sú:
- uhlík,
 - dusík,
 - kyslík,
 - vodík.
6. Ktorý prvok nepatrí medzi základné stavebné prvky organických zlúčenín podľa A. L. Lavoisiera?
- uhlík,
 - železo,
 - fosfor,
 - kyslík.
7. J. J. Berzelius zistil zvláštne spájanie atómov v organických zlúčeninách. Ktorá z uvedených možností vyjadruje Berzeliusovu predstavu?
- Hlavným reťazcom je reťazec kyslíkov, na ktorý sa viažu uhliky.
 - Hlavným reťazcom je reťazec uhlíkov, na ktorý sa viažu kyslíky.
 - Hlavným reťazcom je reťazec uhlíkov, na ktorý sa viažu ďalšie atómy.
 - Hlavným reťazcom je reťazec kyslíkov, na ktorý sa viažu ďalšie atómy.
8. V ktorom roku C. W. Sheele úspešne vyrobil KCN?
- 1755,
 - 1873,
 - 1828,
 - 1783.

9. V roku 1783 C. W. Sheele vyrobil KCN. Spaľovaním ktorých látok sa mu to podarilo?
- NH₄OCN a močovina,
 - K₂CO₃ a NH₄Cl,
 - NH₄Cl a NH₄OCN,
 - močovina a NH₄Cl
10. Syntéza močoviny bola prelomový krok v histórii organickej chémie. Kto túto syntézu uskutočnil?
- J. W. Döbereiner,
 - F. A. Kekulé,
 - F. Wöhler,
 - A. L. Lavoiser.
11. Čo sa považuje za prelomový krok rozvoja organickej chémie?
- syntéza močoviny,
 - syntéza kyanidu draselného,
 - syntéza benzénu,
 - syntéza tetraedrického uhlíka.
12. F. A. Kekulé študoval štruktúru látok, pričom zistil, že atóm uhlíka v organických zlúčeninách je:
- päťväzbový,
 - štvorväzbový,
 - trojväzbový,
 - dvojväzbový.
13. J. H. Van't Hoff a J. A. Le Bel na základe priestorového usporiadania atómu uhlíka vytvorili:
- oktaedrický model
 - hexaedrický model,
 - tetraedrický model
 - polyedrický model

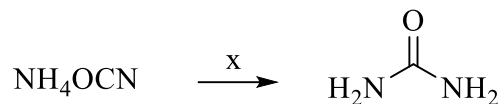
14. Ktorá zlúčenina bola považovaná za najjednoduchšiu aromatickú zlúčeninu podľa F. A. Kekulého?
- a.) toluén,
 - b.) benzén,
 - c.) fenantrén,
 - d.) naftalén.

Otázky s doplnením textu / vzorca / schémy

1. Od 17. storočia prevládala _____ teória, ktorá hovorila o tom, že ku vzniku organických látok je potrebná životná sila.
2. _____ bol prvý, ktorému sa úspešne podarila syntéza močoviny z NH_4CN .
3. A. L. Lavoiser zistil, že organické látky sú zložené z _____, _____ a _____, pričom niektoré zlúčeniny obsahujú aj dusík a _____.
4. J. J. Berzelius zistil, že spájanie atómov v organickej chémii je úplne iné. Hlavným reťazcom je tak vždy reťazec obsahujúci _____, na ktoré sa viažu _____.
5. V roku _____ C. W. Sheele vyrobil KCN spaľovaním uhlíka z _____ a _____.
6. Jedna z najznámejších reakcií v organickej chémii, ktorá sa považuje za prelomovú, je _____ zahrievaním kyanatanu amónneho ktorú F. Wöhler uskutočnil v roku _____, a tým dokázal nesprávnosť _____ teórie.
7. Štruktúru _____ sa podarilo objasniť až F. A. Kekulému, ktorý ho považoval za najjednoduchšiu _____ zlúčeninu, pričom stanovil, že ide o zlúčeninu zložená zo _____ uhlíkov, ktoré sú spojené do _____.
8. Kekulé zadefinoval organickú chémiu, ako chémiu _____.

9. Aktuálne je známych vyše ____ miliónov organických zlúčenín, pričom každý deň pribúdajú ďalšie.

10.



11.



4.2 Zelená chémia – otázky a úlohy

4.2.1 Definícia a história vzniku

Otvorené otázky

1. Napíšte definíciu zelenej chémie.

2. Aký je cieľ zelenej chémie?

3. Kto je zakladateľ zelenej chémie?

4. Napíšte definíciu zelenej chémie podľa P. Anastasa.

5. Koľko základných princípov je obsiahnutých v zelenej chémii?

6. Ktorým 2 vedcom pripisujeme zadefinovanie 12 princípov zelenej chémie?

7. Vymenujte 5 základných faktorov, ktoré sú cieľom zelených princípov.

8. Čo konkrétne zafinoval zákon o prevencii znečisťovania z roku 1990.

9. Aká cena bola zavedená v roku 1996 v oblasti zelenej chémie?

10. Do ktorých 3 štátov sa rozšírilo povedomie o zelenej chémii v USA?

11. Napíšte názov časopisu, ktorý bol prvýkrát vydaný v roku 1999, pričom sa zameriaval na zelené postupy a metódy.

12. Prečo považujeme 12 princípov zelenej chémie za príručku každého zeleného chemika?

13. Aké výhody môže mať používanie zelených nástrojov (prístrojov)?

Otázky s možnosťou výberu správnej odpovede

1. Koho považujeme za zakladateľa zelenej chémie?

- a.) F. Wöhler,
- b.) P. Anastas,
- c.) J. Clark,
- d.) A. L. Lavoiser.

2. Paul Anastas je zakladateľom:
 - a.) modrej chémie,
 - b.) zelenej chémie,
 - c.) ekochémie,
 - d.) environmentálnej chémie.

3. Koľko princípov je definovaných v zelenej chémii?
 - a.) 10,
 - b.) 11,
 - c.) 12,
 - d.) 13.

4. Ktoré odborné termíny sa často spomínajú v rámci zelenej chémie avšak nemajú presnú definíciu?
 - a.) údržba a hospodárenie,
 - b.) výdrž a spoľahlivosť,
 - c.) udržateľnosť a udržateľný rozvoj,
 - d.) trvácnosť a trvanlivosť.

5. Definícia zelenej chémie znie tak, že predstavuje:
 - a.) menej ekologickú podobu chémie,
 - b.) súbor princípov so zameraním na zníženie používania a tvorby nebezpečných chemických látok,
 - c.) vednú disciplínu s cieľom vyhovieť priemyselnej výrobe,
 - d.) chemickú vedu so zameraním na zníženie výdavkov za chemikálie.

6. Ktorých 5 faktorov sa snaží zelená chémia znížiť?
 - a.) odpad, východiskové látky, energiu, náklady a nebezpečenstvo,
 - b.) odpad, energiu, náklady, nebezpečenstvo a produkty,
 - c.) energiu, náklady, odpad, východiskové látky a produkty,
 - d.) odpad, východiskové látky, energiu a náklady.

7. V ktorých 3 krajinách sa rozšíril záujem o zelenú chémiu?
- a.) Taliansko,
 - b.) Španielsko,
 - c.) Francúzsko,
 - d.) Spojené kráľovstvo.

4.2.2 Princípy zelenej chémie

Otvorené otázky

1. V ktorom roku bolo zadaných 12 princípov zelenej chémie?

2. Napíšte mená dvoch vedcov, ktorí zadaných 12 princípov zelenej chémie.

3. Uveďte názvy 12 princípov zelenej chémie.

4. Vysvetlite, čo sa rozumie pod pojmom odpad.

5. Napíšte základnú myšlienku prvého princípu zelenej chémie (o prevencii vzniku odpadu).

6. Vysvetlite, ako sa dostane odpad v plynnej podobe späť do vody a pôdy.

7. Aké látky predstavujú najväčšie množstvo odpadu?

8. Ako prebieha likvidácia odpadu v spaľovniach?

9. Pri akých teplotách prebieha spaľovanie odpadu?

10. Ako si predstavujete priebeh ekologickejšieho spôsobu spaľovania odpadu?

11. Akými 3 spôsobmi môže byť znečistená odpadová voda?

12. Ktoré látky znečisťujú vodu a znemožňujú tým samočistiaci proces vody?

13. Aký je najrozšírenejší spôsob využitia odpadu zachyteného v čistiarnach odpadových vôd?

14. Aký problém nastáva pri použití vyhnitého kalu ako hnojiva v poľnohospodárstve?

15. Čo vzniká hnitím odpadu zachytávaného v čistiarnach odpadových vôd?

16. Napíšte 3 príklady odpadov, ktoré môžeme zahodiť do kontajnerov určených na papier.

17. Napíšte 3 príklady odpadov, ktoré nemôžeme zahodiť do kontajnerov určených na papier, napriek tomu, že sú to produkty vyrobené z papiera.

18. Uveďte 3 príklady odpadov, ktoré môžeme zahodiť do kontajnerov určených na sklo.

19. Uveďte 3 príklady odpadov, ktoré nemôžeme zahodiť do kontajnerov určených na sklo, napriek tomu, že sú to produkty vyrobené zo skla.

20. Uveďte 3 príklady odpadov, ktoré môžeme zahodiť do kontajnerov určených na plast.

21. Uveďte 3 príklady odpadov, ktoré nemôžeme zahodiť do kontajnerov určených na plast, napriek tomu, že sú to produkty vyrobené z plastu.

22. Napíšte 1 príklad odpadu, ktorý môžeme a nemôžeme zahodiť do kontajnerov určených na kovy.

23. Dôležitou zložkou komunálneho odpadu je aj nebezpečný odpad, ktorý však nesmieme zahadzovať do kontajnerov. Napíšte, ako je potrebné s takýmto odpadom zaobchádzať.

24. Napíšte, čo zaradujeme do kategórie nebezpečný odpad.

25. Čím sa zaoberá druhý princíp zelenej chémie – atómová ekonómia?

26. Atómová ekonómia sa tiež zaoberá zmenou reakcií typu $A + B \rightarrow C + D$. Schematicky napíšte žiadanú zmenu tejto reakcie podľa uvedeného princípu.

27. Napíšte, čo vyjadruje atómová ekonómia.

28. Napíšte vzorec pre atómovú ekonómiu.

29. V akých jednotkách vyjadrujeme atómovú ekonómiu?

30. Napíšte, čo určuje E–faktor?

31. Uvedte, aká je najoptimálnejšia hodnota E–faktora.

32. Definujte využiteľnosť atómov AU.

33. Napíšte vzorec využiteľnosti atómov AU.

34. Schematicky znázornite výrobu kompostovateľného polyméru z kukuričného škrobu.

35. Zdôvodnite výhody použitia glukózy na výrobu kyseliny adipovej.

36. Použitím názvov zlúčenín navrhnete zelený postup prípravy kyseliny adipovej.

37. Definujte, aká látka sa považuje za bezpečnú chemikáliu a napíšte aspoň jeden príklad na takýto typ látky.

38. Do akej skupiny chemických látok zaradíme limonén?

39. Približne koľko % limonénu je obsiahnutého v citrusových esenciálnych olejoch?

40. Aké nebezpečenstvo predstavujú vyššie koncentrácie xylénu pre ľudí?

41. Na ochranu trupov lodí sa v minulosti používali zlúčeniny cínu. Dnes už však používame viac ekologickú látku na tento účel. Ako sa nazýva táto látka?

42. Napíšte, čo znamená skratka EHS.

43. Napíšte, čo znamená skratka LCA.

44. Uveďte 3 dôvody, prečo voda patrí medzi najvhodnejšie rozpúšťadlá.

45. Napíšte 3 bežné činnosti, pri ktorých využívame energiu.

46. Približne koľko % energie získavame spaľovaním fosílnych palív?

47. Koľko °C je doporučená teplota na spánok, prácu a čítanie?

48. Vymenujte 3 typy obnoviteľných zdrojov energie.

49. Vysvetlite, ako dochádza k premene sily prúdenia vody na elektrickú energiu.

50. Aké 3 druhy turbín sa používajú najčastejšie vo vodných elektrárnach?

51. Vysvetlite rozdiel medzi Kaplanovou a Peltonovou turbínou.

52. Vymenujte aspoň 2 zdroje biomasy.

53. Vysvetlite pojem deriváty.

54. Vysvetlite, čo znamená derivatizácia.

55. Ktorý princíp zelenej chémie sa zaoberá derivátmi?

56. Aké sú výhody reakcií katalyzovaných enzýmami?

57. Ktorý enzým sa využíva pri výrobe kyseliny 6-aminopenicilánovej zeleným spôsobom?

58. Vysvetlite priebeh katalytických reakcií.

59. Vysvetlite rozdiel medzi homogénnou a heterogénnou katalýzou.

60. Vysvetlite princíp autokatalýzy?

61. Ktorý enzým je prítomný pri príprave hydrochinónu z D-glukózy?

62. Vysvetlite pojem biodegradovateľnosť.

63. Napíšte 2 biodegradovateľné plasty.

64. Uved'te, z akej látky sa vyrába tzv. plast budúcnosti, kvôli ktorému môžeme povedať, že daný materiál je zo 100 % rastlinného pôvodu.

65. Napíšte názov látky, ktorá sa skrátene nazýva DDT.

66. Ktorá metóda sa najčastejšie využíva pri analýze chemických procesov?

67. Skrátene vysvetlite cieľ posledného princípu zelenej chémie.

68. Vymenujte 5 metód a nástrojov, ktoré sa využívajú v zelenej chémii.

69. Napíšte 4 najdôležitejšie pravidlá zelenej chémie.

Otázky s doplnením textu / vzorca / schémy

1. Veľkým krokom v oblasti zelenej chémie bolo zadefinovanie _____ základných princípov v roku 1998, ktoré pripisujeme _____ a _____.
2. Najväčšie množstvo odpadov predstavujú _____ látky, medzi ktoré patrí hlavne odpad z _____ výroby a odpad z miest a _____.
3. V spaľovniach prebieha _____ zneškodnenie odpadu, počas ktorého sa väčšina odpadu pri vysokých teplotách (_____ – _____ °C) rozkladá na jednoduchšie molekuly a prvky a ich pôvodný objem sa zníži približne na _____.
4. Aktuálne sa už využíva napríklad značná časť získanej energie z odpadov. Tú je možné získať _____, či splynovaním odpadu za pridávania _____.

5. Odpadová voda môže byť znečistená napríklad _____, komunálne alebo aj _____.
6. Dôležitou zložkou komunálneho odpadu je nebezpečný odpad, ktorý je nutné odovzdať do _____.
7. Doplňte názvy jednotlivých princípov do schémy:



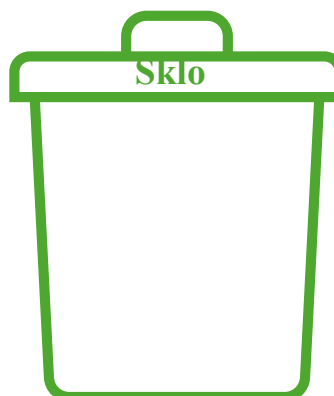
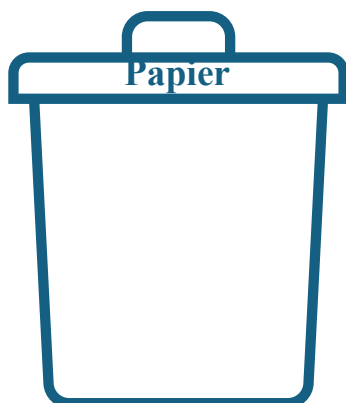
8. Atómová ekonomika hľadá spôsob, ako premeniť čo najviac _____ na hlavný produkt a obmedziť tak množstvo _____.
9. AE je teoretické číslo vyjadrované v _____.
10. Najoptimálnejšia hodnota E-faktora je _____. Čím je hodnota vyššia, tým väčšie množstvo _____ vzniká.
11. V laboratórnych podmienkach sa kyselina adipová najčastejšie pripravuje _____ cyklohexanolu za použitia kyseliny _____.
12. Za bezpečnú chemikáliu sa považuje látka, ktorá pochádza z _____ a obnoviteľných zdrojov, pričom je zároveň ľahko odbúrateľná v životnom prostredí.
13. _____ je hlavnou zložkou citrusových esenciálnych olejov. Nachádza sa najmä v šupkách citrusových plodov.

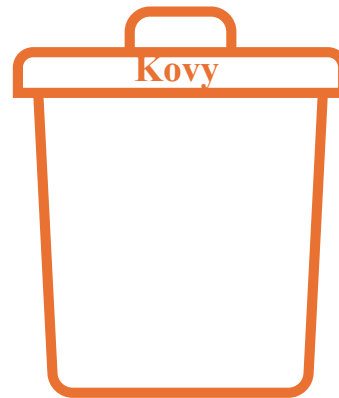
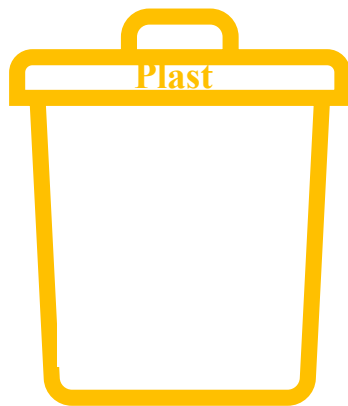
14. Limonén sa využíva najmä v potravinárstve a kozmetickom priemysle, no svoje uplatnenie našiel aj v laboratórnej praxi, kde môže nahrádzať toxickejšie rozpúšťadlá, napr. _____.
15. Podľa EHS sa delia rozpúšťadlá podľa rôznych faktorov na _____ a _____ rozpúšťadlá.
16. Okrem vody môžeme medzi vhodné rozpúšťadlá zaradiť napr. aj _____, či _____ kvapaliny.
17. V súčasnosti sa najviac energie získava z _____ fosílnych palív, ktoré predstavujú neobnoviteľný zdroj. Ich nadmerné využívanie vedie nielen k vyčerpaniu zásob, ale aj k zvyšovaniu koncentrácie _____ v atmosfére.
18. Využívanie _____ zdrojov energie má pozitívny vplyv na rozvoj spoločnosti. Zaradíme sem napr. slnečnú, _____, vodnú a _____ energiu, ako aj energiu prílivu a _____, energiu morských _____ či biomasu.
19. Na využitie energie vody slúžia vodné elektrárne (_____), ktoré premieňajú silu prúdenia vody na _____ energiu.
20. _____ predstavuje organickú hmotu, ktorá vzniká zo živých organizmov. Obsahuje energiu zo _____, ktorú rastliny získavajú prostredníctvom fotosyntézy a ktorá sa následne uvoľňuje pri jej spaľovaní.
21. Bionafta sa získava spracovaním biomasy bohatej na _____. Po ich oddelení prebieha reakcia s _____, pri ktorej vzniká _____ mastných kyselín a _____.
22. _____ sú zlúčeniny, ktoré vznikajú úpravou alebo zámenou funkčnej skupiny v pôvodnej molekule, čo vedie k zmene ich fyzikálnych aj chemických vlastností. Tento proces sa označuje ako _____.

23. Pri katalytickej reakcii sa _____ najskôr naviaže na jednu z východiskových látok, pričom vzniká _____ komplex. Následne tento komplex reaguje s druhou východiskovou látkou, čím vzniká výsledný _____ a zároveň sa katalyzátor uvoľňuje v nezmenenej forme.
24. Ak je daná reakcia katalyzovaná niektorým zo vzniknutých produktov, tak hovoríme o _____.
25. _____ predstavuje schopnosť látok rozkladať sa pôsobením živých organizmov, ako sú baktérie či plesne, na jednoduchšie a environmentálne neškodné produkty, napr. _____, _____ alebo vodu.
26. _____ je látka, ktorá sa hromadí v tukových tkanivách a môže sa šíriť na veľké vzdialenosti vo _____ vrstvách atmosféry.

Otázky s priradením správnej odpovede

1. Vyberte a správnou separáciou roztried'te nižšie uvedené slová do kontajnerov: časopisy, sklenené črepy, fľaše od nápojov, konzervy, kartóny, zaváraninové fľaše, papierové obaly, poháre, vedrá, plechovky, fľaše od pracích prípravkov, plastové hračky.





2. Priradiťte správne nasledovné slová (a-f) do skupín (1, 2).

Skupina 1: Patrí do kontajnera na sklo

- a.) poháre,
- b.) žiarovky,
- c.) zaváraninové fľaše,
- d.) zrkadlá,
- e.) sklenené črepy,

Skupina 2: Nepatrí do kontajnera na sklo

- f.) autosklo

3. Podčiarknite materiály, ktoré nepatria do kontajnerov na papier:

zošity, pauzovací papier, papierové obaly, povoskovaný papier, kartóny, papier na pečenie, časopisy, hygienické potreby, kancelársky papier.

4. Doplňte tabuľku tak, aby v nej boli uvedené správne rozpúšťadlá:

metanol, formaldehyd, cyklohexanón, butyl-acetát, etanol, heptán, kyselina octová, zmes hexánov.

	Vhodné rozpúšťadlá	Nevhodné rozpúšťadlá
EHS		
LCA		

4.3 Metódy zelenej chémie – otázky a úlohy

Otvorené otázky

1. Uved'te nevýhody používania organických rozpúšťadiel.

2. Napíšte, ako vznikajú superkritické kvapaliny a uved'te aspoň 1 príklad.

3. Uved'te, aké unikátne vlastnosti majú iónové kvapaliny.

4. Vysvetlite, na akom princípe fungujú guľové mlyny.

5. Uved'te výhody používania guľových mlynov.

6. Definujte ultrazvuk.

7. Uved'te 3 oblasti, ktoré využívajú ultrazvuk.

8. Definujte mikrovlnné žiarenie.

9. Uved'te aspoň 3 výhody využívania mikrovlnného žiarenia.

10. Napíšte 2 príklady najčastejšie používaných činidiel pri redukciách.

11. Napíšte 2 príklady najčastejšie používaných činidiel pri oxidáciách.

12. Vysvetlite, na akom princípe funguje biokatalýza.

13. Napíšte aspoň 3 výhody biokatalýzy.

14. Definujte fotochémiu, ako jednu z mnohých odvetví chémie.

15. Uveďte, ktorej známej menšej reakcii je zelenou alternatívou fotoacylácia.

Otázky s doplnením textu / vzorca / schémy

1. Hlavným cieľom „zelených“ metód a moderných technologických prístupov v chémii je napĺňanie _____ zelenej chémie, najmä _____ základných princípov.
2. Jednou z kľúčových oblastí zelenej chémie je aj vývoj a využívanie ekologickejších _____, ktoré patria medzi základné princípy tohto smeru.
3. Superkritické kvapaliny vznikajú pri prekročení _____ teploty a _____ danej látky, pričom získavajú vlastnosti medzi kvapalinou a plynom. Najčastejšie využívaným príkladom je superkritický _____, ktorý je netoxický, nehorľavý a po reakcii sa dá jednoducho odstrániť znížením _____.
4. Iónové kvapaliny sú zlúčeniny tvorené _____, ktoré majú veľmi nízku teplotu topenia, často pod _____ °C.
5. Typickým zariadením využívaným v mechanochemii sú _____ _____, ktoré pracujú na princípe intenzívneho _____ a nárazov.

6. Pod pojmom ultrazvuk označujeme _____ zvukové vlny s frekvenciou približne ___ kHz až _____ MHz, teda _____ hranicou počuteľnosti ľudského ucha.
7. V chemických reakciách predstavuje ultrazvuk alternatívny zdroj _____, ktorý umožňuje tzv. _____ aktiváciu reakčných systémov.
8. Mikrovlnné žiarenie je _____ žiarenie s frekvenciou približne _____ MHz až ___ GHz, čo zodpovedá vlnovým dĺžkam v rozmedzí od ___ mm do ___ m.
9. Cieľom využívania katalýzy a biokatalýzy je najmä _____ tvorby odpadu a _____ efektivity chemických syntéz.
10. Z hľadiska fotochémie je obzvlášť významné žiarenie v oblasti vlnových dĺžok približne _____ až _____ nm, pretože jeho energia často zodpovedá _____ energiám mnohých organických zlúčenín.

Otázky s možnosťou výberu správnej odpovede

1. 3 najvýznamnejšie metódy a nástroje zelenej chémie sú:
 - a.) guľové mlyny,
 - b.) pretrepávanie 10 minút,
 - c.) mikrovlnné reaktory
 - d.) ultrazvuky.
2. Hlavným cieľom zelených metód v chémii je:
 - a.) naplnenie 12 základných princípov,
 - b.) znížiť výrobu toxických látok,
 - c.) obmedziť používanie energie,
 - d.) využívanie neobnoviteľných zdrojov energie.
3. Používanie tradičných organických rozpúšťadiel má svoje nevýhody. Ktoré sú to?
 - a.) vysoká horľavosť,
 - b.) toxické a karcinogénne,
 - c.) nepríjemný zápach,
 - d.) prchavosť.

4. Superkritické kvapaliny vznikajú pri prekročení:
 - a.) kritickej teploty,
 - b.) kritickej hustoty,
 - c.) kritického tlaku,
 - d.) kritickej dĺžky.

5. Najčastejšie využívanou superkritickou kvapalinou je:
 - a.) superkritický síran meďnatý,
 - b.) superkritický oxid uhoľnatý,
 - c.) superkritický oxid uhličitý,
 - d.) superkritický siričitan meďnatý.

6. Pre iónové kvapaliny neplatí:
 - a.) sú zlúčeniny tvorené iónmi,
 - b.) majú nízku teplotu topenia,
 - c.) majú vysokú prchavosť,
 - d.) majú vysokú tepelnú stabilitu.

7. Energia do reakčných systémov môže byť dodaná rôznymi spôsobmi. Ktorý spôsob medzi ne nepatrí?
 - a.) elektrická energia,
 - b.) kavitačné procesy,
 - c.) mechanická energia,
 - d.) káblová technika.

8. Gul'ové mlyny patria medzi zariadenia:
 - a.) mechanochémie,
 - b.) fotochémie,
 - c.) sonochémie,
 - d.) elektrochémia.

9. Gul'ové mlyny fungujú na princípe:
 - a.) ultrazvukových vln,
 - b.) hydrodynamických javov,
 - c.) trenia a drvenia,
 - d.) vytváranie energie.

10. Ultrazvuk predstavujeme ako zvukové vlny s frekvenciou:

- a.) 16kHz – 70kHz,
- b.) 16kHz – 500kHz,
- c.) 16kHz – 500MHz,
- d.) 16kHz – 70MHz.

11. Ultrazvuk sa využíva aj v oblasti chemického výskumu pod názvom:

- a.) ultrachémia,
- b.) sonochémia,
- c.) elektrochémia,
- d.) termochémia.

12. Mikrovlnné žiarenie je elektromagnetické žiarenie s frekvenciou:

- a.) 30 MHz – 300 GHz,
- b.) 300 GHz – 30 MHz,
- c.) 300 MHz – 300 GHz,
- d.) 300 MHz – 30 GHz.

13. Najčastejšie používané rozpúšťadlá pri redukciách sú:

- a.) KMnO_4 ,
- b.) MnO_2 ,
- c.) LiAlH_4 ,
- d.) NaBH_4

14. Najčastejšie používané rozpúšťadlá pri oxidáciách sú:

- a.) MnO_2 ,
- b.) KMnO_4 ,
- c.) NaBH_4 ,
- d.) LiAlH_4 .

15. Fotoacylácia je zelenou alternatívou:

- a.) Friedelovej – Craftsovej alkylácie,
- b.) Friedelovej – Craftsovej acylácie,
- c.) Grignardovej reakcie,
- d.) Dielsovej – Alderovej reakcie.

Otázky s priradením správnej odpovede

1. Priradiť do uvedených skupín nasledovné slová:

redukcia ketónov, drviace guľičky, katalyzátory, fotoacylácia, elektromagnetické žiarenie, 16 kHz – 500 MHz, sonochémia, trenie, mechanochemia, obmedzenie použitia rozpúšťadiel, aktivačná energia, enzýmy, cyklohexanón + nitrobenzaldehyd, kyselina salicylová + hydrazín, ultrazvukový kúpeľ, 300MHz – 30GHz, mikrovlnný reaktor, 1,4-naftochinón, slnko, oxidácia toluénu manganistanom draselným, 200 až 700 nm.

<https://learningapps.org/watch?v=pcte1bkft26>

Guľový mlyn	Ultrazvuk	Mikrovlnné žiarenie	Katalýza a biokatalýza	Fotochemia



2. Nájdite všetky slová v osemsmierovke:

fotochemia, ekologickosť, katalýza, slnko, zelená, guľičky, sonochémia, princípy, rozpúšťadlá, acylácia, chemia, metódy, ultrazvuk, toluén, voda.

<https://learningapps.org/watch?v=paicbyug526>

v	l	o	t	v	w	v	a	n	k	g	p	n	s	o	n	y	x	b	g	l	r	z	z	e	m	f	u	j	m	q
l	k	j	n	d	d	q	l	v	i	w	q	s	z	l	p	l	i	e	z	w	y	u	m	j	t	g	o	p	i	g
v	o	u	r	z	w	l	h	h	e	á	h	k	i	i	n	h	e	k	e	r	j	e	q	w	s	n	k	e	c	b
f	m	r	a	q	z	e	x	x	l	h	i	x	c	s	c	k	u	m	l	s	f	x	c	c	j	v	i	t	b	p
y	t	e	h	j	i	o	c	d	b	a	a	n	p	z	u	j	o	i	e	k	o	l	o	g	i	c	k	o	s	ť
x	g	o	k	s	w	e	a	e	k	p	i	m	v	j	c	k	g	u	n	g	t	e	w	b	t	u	e	i	h	n
d	t	i	g	n	g	ť	h	h	s	r	v	d	e	f	v	k	l	z	á	m	o	c	o	z	x	d	n	x	m	z
j	y	a	h	j	š	a	m	x	p	o	r	x	u	r	b	z	s	o	n	o	c	h	é	m	i	a	j	l	h	i
b	v	f	z	ú	q	u	c	h	z	r	n	u	e	f	l	r	s	a	y	c	h	é	m	i	a	r	m	t	m	b
d	g	v	p	u	m	n	n	y	r	m	a	v	q	w	v	f	t	o	l	u	é	n	p	c	d	k	l	m	d	o
d	g	z	w	h	q	r	l	p	l	z	w	i	p	i	u	o	x	b	e	i	m	e	t	ó	d	y	e	g	v	l
n	o	h	t	v	x	s	m	m	i	á	v	h	q	q	h	a	d	g	u	l	i	č	k	y	p	l	d	j	j	z
r	t	f	h	s	i	l	u	x	u	j	c	x	v	g	u	j	c	a	z	k	a	t	a	l	ý	z	a	y	k	y
o	c	e	g	m	p	k	k	b	l	c	i	t	l	i	u	l	y	j	v	e	b	e	i	o	g	e	w	m	y	
z	u	j	o	o	a	k	y	t	f	p	t	m	a	f	d	r	h	x	f	d	y	i	a	w	b	h	m	s	g	l
y	o	l	g	v	x	w	y	s	n	o	u	r	y	e	r	s	l	e	s	b	x	p	o	e	i	n	b	s	z	j
x	s	i	x	y	i	r	u	e	b	f	r	p	a	u	j	b	o	t	d	u	t	r	g	p	u	n	b	p	r	n
c	n	p	q	d	s	w	w	q	r	y	p	p	o	z	r	w	z	t	k	w	b	v	e	e	z	t	y	l	n	s
g	o	z	h	h	h	z	e	k	z	c	f	v	f	b	v	r	n	i	l	u	h	g	l	n	t	y	v	w	b	u
r	k	g	h	s	w	p	x	v	a	l	c	e	l	q	y	u	v	t	g	u	v	y	k	y	k	h	c	u	q	k
x	g	r	v	d	w	u	k	l	v	s	a	n	b	h	w	s	k	m	b	b	p	f	x	l	u	w	l	y	p	j

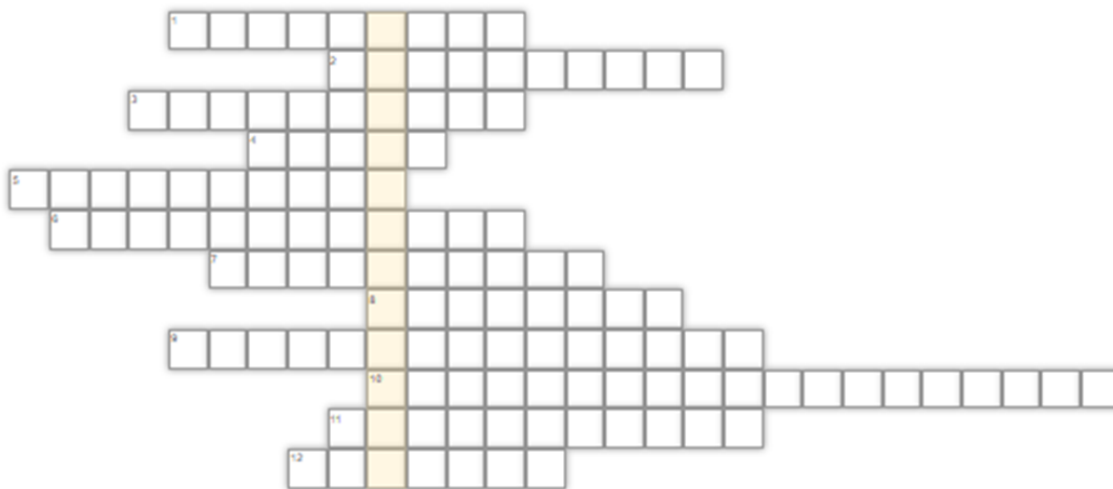


3. Vylúštite krížovku.

<https://learningapps.org/watch?v=pfob9umyk26>

1. Mechanické zvukové vlny s frekvenciou 16 kHz až 500 MHz.
2. Čas priebehu reakcie.
3. Elektromagnetické žiarenie s frekvenciou 300 MHz až 30 GHz.
4. _____ kritické kvapaliny.
5. Nástroj mechanochemie.
6. Alternatíva Friedelovej - Craftsovej acylácie za použitia slnečného žiarenia.
7. Odvetvie chémie zaoberajúce sa ultrazvukom.
8. N_2H_4
9. Zlúčeniny tvorená iónmi s nízkou teplotou topenia.
10. Silné oxidovadlo.
11. Typ katalýzy používajúca enzýmy a iné prírodné látky, ako katalyzátory.
12. Priezvisko zakladateľa zelenej chémie.

Riešenie: _____.



5 Riešenia otázok a úloh k tematickým celkom

5.1 Riešenia tematického celku Organická chémia

Otvorené otázky

1. V počiatkoch rozvoja organickej chémie boli látky rozdelené na 2 základné skupiny. Uved'te, ktoré to boli.

Horľavé a nehorľavé látky.

2. Vymenujte príklady látok, ktoré boli radené do skupiny organických látok, ktoré horia.

Drevo, tuky a oleje.

3. Vymenujte príklady látok, ktoré boli radené do skupiny organických látok, ktoré nehoria.

Kamene, soľ a voda.

4. Vysvetlite, v čom spočívala vitalistická teória známa už v 17. storočí.

Vitalistická teória hovorila o tom, že ku vzniku všetkých organických látok je potrebná „životná sila“.

5. Napíšte, čo znamená v preklade slovné spojenie „vis vitalis“.

Životná sila.

6. A. L. Lavoisier zistil, že organické látky sú zložené okrem 3 základných aj 2 ďalších často sa vyskytujúcich prvkov. Uved'te tieto prvky.

Uhlík, vodík a kyslík, ale tiež dusík a fosfor.

7. J. J. Berzelius zistil, že spájanie atómov v organických látkach je iné, ako pri tých anorganických. Napíšte, ako si predstavoval štruktúru týchto látok J. J. Berzelius.

Základ tvorí reťazec atómov uhlíka a naň sa viažu ďalšie prvky.

8. V roku 1783 C. W. Sheele nasyntetizoval látku spaľovaním uhlíka z K_2CO_3 a NH_4Cl . O ktorú látku ide? Napíšte aj chemický vzorec.

Kyanid draselný – KCN.

9. Napíšte chemickú rovnicu prípravy KCN podľa C. W. Sheeleho.



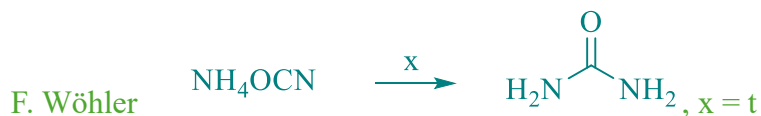
10. Napíšte štruktúrny vzorec a názov látky, ktorú pripravil F. Wöhler zahriatím kyanatanu amónneho.



11. Napíšte, ktorú organickú látku považoval F. A. Kekulé za najjednoduchšiu aromatickú zlúčeninu.

Benzén

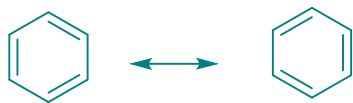
12. Prelomovým krokom v organickej chémii bola úspešná syntéza močoviny uskutočnená v roku 1828. Zapište chemickú reakciu a uveďte, komu sa táto syntéza podarila.



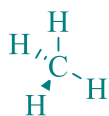
13. Napíšte vzorec látky, ktorej zahriatím F. Wöhler pripravil močovinu.

NH_4OCN

14. Nakreslite štruktúru benzénu a jeho tzv. osciláciu medzi dvoma stavmi.



15. Van't Hoff a Le Bel vytvorili tetraedrický model uhlíka. Znázornite štruktúru metánu použitím tohto modelu.



16. Organické zlúčeniny sú súčasťou nášho života v každodennom živote. Uveďte 3 príklady.

17. V poslednej dobe sa udiali viaceré havárie. Viete, v ktorom indickom meste unikol metylizokyanátu.

Bhopál

18. V ktorom roku sa podarilo uskutočniť prelomovú syntézu močoviny?

1828

19. Napíšte, v akej podobe bola dodávaná energia pri syntéze močoviny z kyanatanu amónneho.

v podobe tepla / zahrievaním

20. Koľko organických zlúčenín je v súčasnosti známych?

17 miliónov, pričom stále pribúdajú nové.

Otázky s možnosťou výberu správnej odpovede

1. Do ktorých dvoch skupín boli radené látky v počiatkoch rozvoja organickej chémie?

- a.) prírodné a neživé,
- b.) kyseliny a zásady,
- c.) drevo a oleje,
- d.) horľavé a nehorľavé.

2. Ktoré 3 látky boli zaradené medzi horľavé v počiatkoch rozvoja organickej chémie?

- a.) drevo,
- b.) oleje,
- c.) tuky,
- d.) soľ.

3. Ktoré 3 látky boli zaradené medzi nehorľavé v počiatkoch rozvoja organickej chémie?

- a.) kameň,
- b.) olej,
- c.) soľ,
- d.) voda.

4. Význam „*vis vitalis*“ je:
- a.) životaschopnosť,
 - b.) životná sila,
 - c.) životný štýl,
 - d.) sila duše.
5. Tri prvky, ktoré považoval A. L. Lavoisier za základné stavebné prvky organických zlúčenín sú:
- a.) uhlík,
 - b.) dusík,
 - c.) kyslík,
 - d.) vodík.
6. Ktorý prvok nepatrí medzi základné stavebné prvky organických zlúčenín podľa A. L. Lavoisera?
- a.) uhlík,
 - b.) železo,
 - c.) fosfor,
 - d.) kyslík.
7. J. J. Berzelius zistil zvláštne spájanie atómov v organických zlúčeninách. Ktorá z uvedených možností vyjadruje Berzeliusovu predstavu?
- a.) Hlavným reťazcom je reťazec kyslíkov, na ktorý sa viažu uhlíky.
 - b.) Hlavným reťazcom je reťazec uhlíkov, na ktorý sa viažu kyslíky.
 - c.) Hlavným reťazcom je reťazec uhlíkov, na ktorý sa viažu ďalšie atómy.
 - d.) Hlavným reťazcom je reťazec kyslíkov, na ktorý sa viažu ďalšie atómy.
8. V ktorom roku C. W. Sheele úspešne vyrobil KCN?
- a.) 1755,
 - b.) 1873,
 - c.) 1828,
 - d.) 1783.

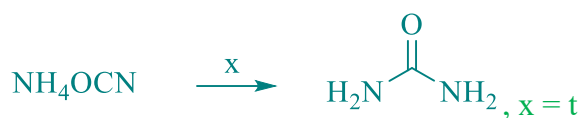
9. V roku 1783 C. W. Sheele vyrobil KCN. Spaľovaním ktorých látok sa mu to podarilo?
- NH₄OCN a močovina,
 - K₂CO₃ a NH₄Cl,
 - NH₄Cl a NH₄OCN,
 - močovina a NH₄Cl
10. Syntéza močoviny bola prelomový krok v histórii organickej chémie. Kto túto syntézu uskutočnil?
- J. W. Döbereiner,
 - F. A. Kekulé,
 - F. Wöhler,
 - A. L. Lavoiser.
11. Čo sa považuje za prelomový krok rozvoja organickej chémie?
- syntéza močoviny,
 - syntéza kyanidu draselného,
 - syntéza benzénu,
 - syntéza tetraedrického uhlíka.
12. F. A. Kekulé študoval štruktúru látok, pričom zistil, že atóm uhlíka v organických zlúčeninách je:
- päťväzbový,
 - štvorväzbový,
 - trojväzbový,
 - dvojväzbový.
13. J. H. Van't Hoff a J. A. Le Bel na základe priestorového usporiadania atómu uhlíka vytvorili:
- oktaedrický model
 - hexaedrický model,
 - tetraedrický model
 - polyedrický model

14. Ktorá zlúčenina bola považovaná za najjednoduchšiu aromatickú zlúčeninu podľa F. A. Kekulého?
- a.) toluén,
 - b.) benzén,
 - c.) fenantrén,
 - d.) naftalén.

Otázky s doplnením textu / vzorca / schémy

1. Od 17. storočia prevládala **vitalistická** teória, ktorá hovorila o tom, že ku vzniku organických látok je potrebná životná sila.
2. **F. Wöhler** bol prvý, ktorému sa úspešne podarila syntéza močoviny z NH_4OCN .
3. A. L. Lavoiser zistil, že organické látky sú zložené z **uhlíka**, **vodíka** a **kyslíka**, pričom niektoré zlúčeniny obsahujú aj dusík a **fosfor**.
4. J. J. Berzelius zistil, že spájanie atómov v organickej chémii je úplne iné. Hlavným reťazcom je tak vždy reťazec obsahujúci **uhlíky**, na ktoré sa viažu **d'alšie prvky**.
5. V roku **1783** C. W. Sheele vyrobil KCN spaľovaním uhlíka z K_2CO_3 a NH_4Cl .
6. Jedna z najznámejších reakcií v organickej chémii, ktorá sa považuje za prelomovú, je **syntéza močoviny** zahrievaním kyanatanu amónneho ktorú F. Wöhler uskutočnil v roku **1828**, a tým dokázal nesprávnosť **vitalistickej** teórie.
7. Štruktúru **benzénu** sa podarilo objasniť až F. A. Kekulému, ktorý ho považoval za najjednoduchšiu **aromatickú** zlúčeninu, pričom stanovil, že ide o zlúčeninu zložená zo **šiestich** uhlíkov, ktoré sú spojené do **kruhu/cyklu**.
8. Kekulé zadefinoval organickú chémiu, ako chémiu **uhlíka**.
9. Aktuálne je známych vyše **17** miliónov organických zlúčenín, pričom každý deň pribúdajú d'alšie.

10.



11.



5.2 Riešenia tematického celku Zelená chémia

5.2.1 Riešenia tematických celkov Definícia a História vzniku

Otvorené otázky

1. Napíšte definíciu zelenej chémie.

Je súčasť chemickej vedy, ktorá sa zameriava na udržateľné, bezpečné a neznečisťujúce alternatívy chemických postupov, s minimálnou spotrebou energie a materiálu a samozrejme s čo najnižšou produkciou odpadu.

2. Aký je cieľ zelenej chémie?

Vyhovieť požiadavkám priemyselnej výroby, ale zároveň aj požiadavkám životného prostredia s ohľadom na ochranu zdravia, pričom sa snaží vytvoriť medzi nimi rovnováhu.

3. Kto je zakladateľ zelenej chémie?

Paul Anastas

4. Napíšte definíciu zelenej chémie podľa P. Anastasa.

Zelená chémia je súbor princípov, ktoré sa zameriavajú na zníženie používania a aj tvorby nebezpečných chemických látok.

5. Koľko základných princípov je obsiahnutých v zelenej chémii?

12

6. Ktorým 2 vedcom pripisujeme zadefinovanie 12 princípov zelenej chémie?

P. Anastas a J. Warner.

7. Vymenujte 5 základných faktorov, ktoré sú cieľom zelených princípov.

množstvo vzniknutého odpadu, množstvo východiskového materiálu, energia

potrebná napr. na uskutočnenie experimentov, celkové náklady spojené s danou

činnosťou, riziká a nebezpečenstvo.

8. Čo konkrétne zadefinoval zákon o prevencii znečisťovania z roku 1990.

Zákon zaviedol národnú politiku, ktorej cieľom bolo minimalizovať znečisťovanie

životného prostredia vo všetkých jeho formách.

9. Aká cena bola zavedená v roku 1996 v oblasti zelenej chémie?

Prezidentská cena v oblasti zelenej chémie.

10. Do ktorých 3 štátov sa rozšírilo povedomie o zelenej chémii v USA?

Do Spojeného kráľovstva, Španielska a Talianska.

11. Napíšte názov časopisu, ktorý bol prvýkrát vydaný v roku 1999, pričom sa zameriaval na zelené postupy a metódy.

Green Chemistry.

12. Prečo považujeme 12 princípov zelenej chémie za príručku každého zeleného chemika?

Sú to pravidlá určujúce kroky, ktoré musia byť dodržané, ak chceme skutočne rozvíjať

toto pomerne mladé odvetvie chémie.

13. Aké výhody môže mať používanie zelených nástrojov (prístrojov)?

Zelené nástroje sa využívajú najmä na znižovanie nákladov, množstva odpadu

a spotreby energie, pričom zároveň zvyšujú efektivitu reakcií a výťažnosť produktov

s ohľadom na životné prostredie.

Otázky s možnosťou výberu správnej odpovede

1. Koho považujeme za zakladateľa zelenej chémie?
 - a.) F. Wöhler,
 - b.) P. Anastas,
 - c.) J. Clark,
 - d.) A. L. Lavoiser.

2. Paul Anastas je zakladateľom:
 - a.) modrej chémie,
 - b.) zelenej chémie,
 - c.) ekochémie,
 - d.) environmentálnej chémie.

3. Koľko princípov je definovaných v zelenej chémii?
 - a.) 10,
 - b.) 11,
 - c.) 12,
 - d.) 13.

4. Ktoré odborné termíny sa často spomínajú v rámci zelenej chémie avšak nemajú presnú definíciu?
 - a.) údržba a hospodárenie,
 - b.) výdrž a spoľahlivosť,
 - c.) udržateľnosť a udržateľný rozvoj,
 - d.) trvácnosť a trvanlivosť.

5. Definícia zelenej chémie znie tak, že predstavuje:
 - a.) menej ekologickú podobu chémie,
 - b.) súbor princípov so zameraním na zníženie používania a tvorby nebezpečných chemických látok,
 - c.) vednú disciplínu s cieľom vyhovieť priemyselnej výrobe,
 - d.) chemickú vedu so zameraním na zníženie výdavkov za chemikálie.

6. Ktorých 5 faktorov sa snaží zelená chémia znížiť?
- a.) odpad, východiskové látky, energiu, náklady a nebezpečenstvo,
 - b.) odpad, energiu, náklady, nebezpečenstvo a produkty,
 - c.) energiu, náklady, odpad, východiskové látky a produkty,
 - d.) odpad, východiskové látky, energiu a náklady.
7. V ktorých 3 krajinách sa rozšíril záujem o zelenú chémiu?
- a.) Taliansko,
 - b.) Španielsko,
 - c.) Francúzsko,
 - d.) Spojené kráľovstvo.

5.2.2 Riešenia tematického celku Princípy zelenej chémie

Otvorené otázky

1. V ktorom roku bolo zadaných 12 princípov zelenej chémie?

1998

2. Napíšte mená dvoch vedcov, ktorí zadaných 12 princípov zelenej chémie.

P. Anastas a J. Warner.

3. Uveďte názvy 12 princípov zelenej chémie.

prevencia vzniku odpadu, atómová ekonomia, menej riskantné chemické syntézy,
navrhovanie bezpečnejších chemikálií, bezpečnejšie rozpúšťadlá a pomocné látky,
efektívne využitie energie, používanie obnoviteľných zdrojov energie, obmedzenie
používania derivátov, presadzovanie katalytických procesov, navrhovanie degradácie
chemických látok, kompletná analýza chemických procesov, bezpečnosť chemických
procesov / princíp bezpečnosti

4. Vysvetlite, čo sa rozumie pod pojmom odpad.

Pod pojmom odpad rozumieme látky, ktoré vznikajú počas chemických, výrobných
alebo spracovateľských procesov a ďalej sa už nevyužívajú.

5. Napíšte základnú myšlienku prvého princípu zelenej chémie (o prevencii vzniku odpadu).

Základnou myšlienkou je, že odpad by mal byť v maximálnej možnej miere recyklovaný a opätovne využitý ako surovina v ďalšej výrobe.

6. Vysvetlite, ako sa dostane odpad v plynnej podobe späť do vody a pôdy.

Plynné zložky odpadu unikajú do atmosféry a následne sa prostredníctvom zrážok dostávajú späť do pôdy a vody, čím prispievajú k sekundárnemu znečisteniu.

7. Aké látky predstavujú najväčšie množstvo odpadu?

Najväčší podiel tvoria pevné odpady, najmä z priemyselnej výroby, ako aj komunálny odpad z domácností a miest.

8. Ako prebieha likvidácia odpadu v spaľovniach?

V spaľovniach prebieha termické zneškodňovanie odpadu, pri ktorom sa pri vysokých teplotách (približne 800 – 900 °C) organické zložky rozkladajú na jednoduchšie látky.

9. Pri akých teplotách prebieha spaľovanie odpadu?

800 až 900 °C.

10. Ako si predstavujete priebeh ekologickejšieho spôsobu spaľovania odpadu?

Získavanie energie z odpadu v podobe tepelnej a elektrickej energie.

11. Akými 3 spôsobmi môže byť znečistená odpadová voda?

Priemyselne, komunálne a dopravou.

12. Ktoré látky znečisťujú vodu a znemožňujú tým samočistiaci proces vody?

Ropné produkty a fenoly.

13. Aký je najrozšírenejší spôsob využitia odpadu zachyteného v čistiarnach odpadových vôd?

Využíva sa v poľnohospodárstve ako hnojivo.

14. Aký problém nastáva pri použití vyhnitého kalu ako hnojiva v poľnohospodárstve?

Môže obsahovať aj ťažké kovy, či zvyšky organických látok, napr. liečiv, čo postupne vedie k obmedzovaniu tohto spôsobu využitia.

15. Čo vzniká hnitím odpadu zachytávaného v čistiarnach odpadových vôd?

bioplyn

16. Napíšte 3 príklady odpadov, ktoré môžeme zahodiť do kontajnerov určených na papier.

časopisy / kartóny / zošity / kancelársky papier / papierové obaly

17. Napíšte 3 príklady odpadov, ktoré nemôžeme zahodiť do kontajnerov určených na papier, napriek tomu, že sú to produkty vyrobené z papiera.

papier na pečenie / povoskovaný papier / kopírovací papier

18. Uveďte 3 príklady odpadov, ktoré môžeme zahodiť do kontajnerov určených na sklo.

sklenené črepy / poháre / zaváraninové fľaše

19. Uveďte 3 príklady odpadov, ktoré nemôžeme zahodiť do kontajnerov určených na sklo, napriek tomu, že sú to produkty vyrobené zo skla.

zrkadlá / plexisklo / autosklo / žiarovky / fľaše od chemikálií

20. Uveďte 3 príklady odpadov, ktoré môžeme zahodiť do kontajnerov určených na plast.

fľaše od nápojov / kozmetických a pracích prípravkov / vedrá / plastové hračky

21. Uveďte 3 príklady odpadov, ktoré nemôžeme zahodiť do kontajnerov určených na plast, napriek tomu, že sú to produkty vyrobené z plastu.

molitan / PVC / plastové diely s kovovými časticami.

22. Napíšte 1 príklad odpadu, ktorý môžeme a nemôžeme zahodiť do kontajnerov určených na kovy.

Môžeme: konzervy / plechovky. Nemôžeme: plechovky od farieb a chemikálií.

23. Dôležitou zložkou komunálneho odpadu je aj nebezpečný odpad, ktorý však nesmieme zahadzovať do kontajnerov. Napíšte, ako je potrebné s takýmto odpadom zaobchádzať.

Nebezpečný odpad je potrebné odovzdávať na špecializovaných zberných miestach alebo v zberných dvoroch.

24. Napíšte, čo zaraďujeme do kategórie nebezpečný odpad.

Do tejto kategórie patria napr. lepidlá, farby, žiarovky, staré elektrospotrebiče, ako aj použité batérie a akumulátory.

25. Čím sa zaoberá druhý princíp zelenej chémie – atómová ekonómia?

Zaoberá sa nielen množstvom vzniknutého produktu, ale aj množstvom premenených východiskových látok. Hľadá spôsob, ako premeniť čo najviac reaktantov na hlavný produkt a obmedziť tak množstvo odpadu.

26. Atómová ekonómia sa tiež zaoberá zmenou reakcií typu $A + B \rightarrow C + D$. Schematicky napíšte žiadanú zmenu tejto reakcie podľa uvedeného princípu.



27. Napíšte, čo vyjadruje atómová ekonómia.

Vyjadruje účinnosť využitia reaktantov počas chemickej reakcie.

28. Napíšte vzorec pre atómovú ekonómiu.

$$AE = \frac{M(\text{produkt}) * 100}{\Sigma M(\text{produkt})}$$

29. V akých jednotkách vyjadrujeme atómovú ekonómiu?

V percentách.

30. Napíšte, čo určuje E-faktor?

Vyjadrujeme ako pomer hmotnosti vzniknutého odpadu v kg ku hmotnosti vzniknutého produktu rovnako v kg

31. Uved'te, aká je najoptimálnejšia hodnota E–faktora.

Najoptimálnejšia hodnota E–faktora je 0.

32. Definujte využitelnosť atómov AU.

AU (z angl. „Atom Utilization“) vyjadruje podiel východiskových látok vo vzniknutom produkte.

33. Napíšte vzorec využiteľnosti atómov AU.

$$AU = \frac{M(\text{produkt}) * 100}{\sum M(\text{reaktant})}$$

34. Schematicky znázornite výrobu kompostovateľného polyméru z kukuričného škrobu.



35. Zdôvodnite výhody použitia glukózy na výrobu kyseliny adipovej.

Glukóza je bezpečná surovina získavaná z prírodného materiálu.

36. Použitím názvov zlúčenín navrhnete zelený postup prípravy kyseliny adipovej.

Glukóza → kyselina glukárová → kyselina adipová

37. Definujte, aká látka sa považuje za bezpečnú chemikáliu a napíšte aspoň jeden príklad na takýto typ látky.

Za bezpečnú chemikáliu sa považuje látka, ktorá pochádza z prírodných a obnoviteľných zdrojov a je zároveň ľahko odbúrateľná v životnom prostredí.

Napr.: esenciálne oleje získavané z rastlín.

38. Do akej skupiny chemických látok zaradíme limonén?

Limonén patrí medzi monocyklické monoterpény.

39. Približne koľko % limonénu je obsiahnutého v citrusových esenciálnych olejoch?

90 až 95 %

40. Aké nebezpečenstvo predstavujú vyššie koncentrácie xylénu pre ľudí?

Xylén je pri vyšších koncentráciách nebezpečný, pretože tlmí činnosť centrálného nervového systému a dýchacieho centra, čo môže viesť až k smrteľným následkom v dôsledku nedostatku kyslíka.

41. Na ochranu trupov lodí sa v minulosti používali zlúčeniny cínu. Dnes už však používame viac ekologickú látku na tento účel. Ako sa nazýva táto látka?

Sea-Nine 211.

42. Napíšte, čo znamená skratka EHS.

Environmental Health & Safety

43. Napíšte, čo znamená skratka LCA.

Life Cycle Assesment

44. Uveďte 3 dôvody, prečo voda patrí medzi najvhodnejšie rozpúšťadlá.

vysoká vodivosť a tepelná kapacita, finančne nenáročná, prírodná látka

45. Napíšte 3 bežné činnosti, pri ktorých využívame energiu.

príprava horúcich nápojov, pečenie, varenie a iné.

46. Približne koľko percent energie získavame spaľovaním fosílnych palív?

82 %

47. Koľko °C je doporučená teplota na spánok, prácu a čítanie?

Spánok 18 °C. Práca: 20 °C. Čítanie a učenie: 22 °C.

48. Vymenujte 3 typy obnoviteľných zdrojov energie.

Slnecná / veterná / vodná / geotermálna energia, energia prílivu a odlivu/morských vln.

49. Vysvetlite, ako dochádza k premene sily prúdenia vody na elektrickú energiu.

Prúdenie vody otáča turbíny hydroelektrárne aj rotor alternátora, ktorý vytvára elektrickú energiu.

50. Aké 3 druhy turbín sa používajú najčastejšie vo vodných elektrárňach?

Kaplanova, Francisova a Peltonova turbína.

51. Vysvetlite rozdiel medzi Kaplanovou a Peltonovou turbínou.

Kaplanova má tvar vrtule a používa sa pri malých, stredných a aj väčších spádoch vody, Peltonova turbína používa sa pre väčšie spády vody, má lyžicovité lopatky.

52. Vymenujte aspoň 2 zdroje biomasy.

drevo a drevný odpad / potravinové zvyšky / hnoj / poľnohospodárske plodiny

53. Vysvetlite pojem deriváty.

Deriváty sú zlúčeniny, ktoré vznikajú úpravou alebo zamenou funkčnej skupiny v pôvodnej molekule, čo vedie k zmene ich fyzikálnych aj chemických vlastností.

54. Vysvetlite, čo znamená derivatizácia.

Derivatizácia je príprava derivátov.

55. Ktorý princíp zelenej chémie sa zaoberá derivátmi?

8. Obmedzenie používania derivátov.

56. Aké sú výhody reakcií katalyzovaných enzýmami?

Šetria čas aj energiu.

57. Ktorý enzým sa využíva pri výrobe kyseliny 6-aminopenicilánovej zeleným spôsobom?

penicilín G-acyláza

58. Vysvetlite priebeh katalytických reakcií.

Pri katalytickej reakcii sa katalyzátor najskôr naviaže na jednu z východiskových látok, pričom vzniká medziproduktový komplex. Následne tento komplex reaguje s druhou východiskovou látkou, čím vzniká výsledný produkt a zároveň sa katalyzátor uvoľňuje v nezmenenej forme.

59. Vysvetlite rozdiel medzi homogénnou a heterogénnou katalýzou.

Homogénna katalýza – systém, v ktorom katalyzátor a východiskové látky tvoria jednu fázu. Heterogénna katalýza – systém, v ktorom katalyzátor tvorí oddelenú fázu, väčšinou tuhú, kým východiskové látky sú v plynnej alebo v kvapalnej fáze.

60. Vysvetlite princíp autokatalýzy?

Reakcia katalyzovaná vzniknutým produktom je autokatalýza.

61. Uveďte, ktorý enzým je prítomný pri príprave hydrochinónu z D-glukózy?

glukóza-oxidáza

62. Vysvetlite pojem biodegradovateľnosť.

Schopnosť látok rozkladať sa pôsobením živých organizmov, ako sú baktérie, či plesne, na jednoduchšie a environmentálne neškodné produkty, napr. CO₂, CH₄ alebo vodu.

63. Napíšte 2 biodegradovateľné plasty.

kyselina polymliečna (PLA) a polyhydroxybutyrát (PHB)

64. Uveďte, z akej látky sa vyrába tzv. plast budúcnosti, kvôli ktorému môžeme povedať, že daný materiál je zo 100 % rastlinného pôvodu.

z lignínu

65. Napíšte názov látky, ktorá sa skrátene nazýva DDT.

dichlórdifenyltrichlóretán

66. Ktorá metóda sa najčastejšie využíva pri analýze chemických procesov?

tenkovrstvová chromatografia (TLC)

67. Skráteno vysvetlite cieľ posledného princípu zelenej chémie.

Predchádzať výbuchom, haváriám, požiarom a iným mimoriadnym udalostiam, ktoré by mohli ohroziť ľudské zdravie aj životné prostredie.

68. Vymenujte 5 metód a nástrojov, ktoré sa využívajú v zelenej chémii.

guľové mlyny, mikrovlnné reaktory, ultrazvuk, katalýza a biokatalýza, fotochémia

69. Napíšte 4 najdôležitejšie pravidlá zelenej chémie.

Maximálne využitie množstva reagujúcich látok / uprednostnenie syntéz s minimálnym vznikajúcim odpadom / výroba a využitie menej škodlivých látok / bezpečnosť procesov / využívanie obnoviteľných zdrojov / čo najväčšia účinnosť procesov.

Otázky s doplnením textu / vzorca / schémy

1. Veľkým krokom v oblasti zelenej chémie bolo zadefinovanie 12 základných princípov v roku 1998, ktoré pripisujeme P. Anastasovi a J. Warnerovi.
2. Najväčšie množstvo odpadov predstavujú pevné látky, medzi ktoré patrí hlavne odpad z priemyselnej výroby a odpad z miest a domácností.
3. V spaľovniach prebieha termické zneškodnenie odpadu, počas ktorého sa väčšina odpadu pri vysokých teplotách (800 – 900 °C) rozkladá na jednoduchšie molekuly a prvky a ich pôvodný objem sa zníži približne na desatinu.
4. Aktuálne sa už využíva napríklad značná časť získanej energie z odpadov. Tú je možné získať tavením, či splynovaním odpadu za pridávania kyslíka.
5. Odpadová voda môže byť znečistená napríklad priemyselne, komunálne alebo aj dopravou.

6. Dôležitou zložkou komunálneho odpadu je nebezpečný odpad, ktorý je nutné odovzdať do **zberných dvorov**.
7. Doplňte názvy jednotlivých princípov do schémy:



8. Atómová ekonomika hľadá spôsob, ako premeniť čo najviac **reaktantov** na hlavný produkt a obmedziť tak množstvo **odpadu**.
9. AE je teoretické číslo vyjadrované v **percentách**.
10. Najoptimálnejšia hodnota E-faktoru je **0**. Čím je hodnota vyššia, tým väčšie množstvo **odpadu** vzniká.
11. V laboratórnych podmienkach sa kyselina adipová najčastejšie pripravuje **oxidáciou** cyklohexanolu za použitia kyseliny **dusičnej**.
12. Za bezpečnú chemikáliu sa považuje látka, ktorá pochádza z **prírodných** a obnoviteľných zdrojov a je zároveň ľahko odbúrateľná v životnom prostredí.
13. **Limonén** je hlavnou zložkou citrusových esenciálnych olejov. Nachádza sa najmä v šupkách citrusových plodov.

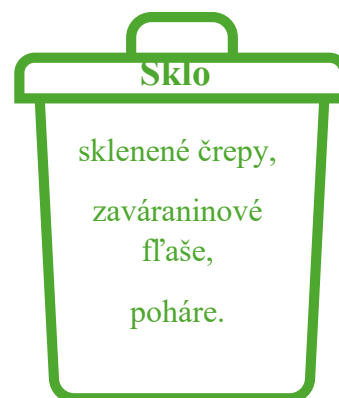
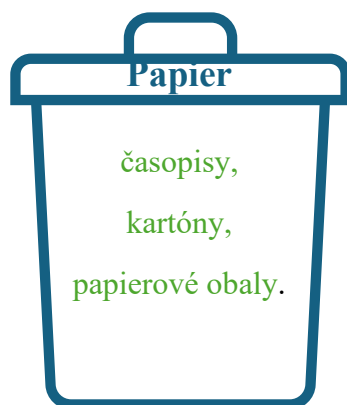
14. Limonén sa využíva najmä v potravinárstve a kozmetickom priemysle, no svoje uplatnenie našiel aj v laboratórnej praxi, kde môže nahrádzať toxickejšie rozpúšťadlá, napr. **xylén**.
15. Podľa EHS sa delia rozpúšťadlá podľa rôznych faktorov na **vhodné** a **nevhodné** rozpúšťadlá.
16. Okrem vody môžeme medzi vhodné rozpúšťadlá zaradiť napr. aj **polyetylénglykoly**, či **iónové** kvapaliny.
17. V súčasnosti sa najviac energie získava zo **spaľovania** fosílnych palív, ktoré predstavujú neobnoviteľný zdroj. Ich nadmerné využívanie vedie nielen k vyčerpaniu zásob, ale aj k zvyšovaniu koncentrácie **oxidu uhličitého** v atmosfére.
18. Využívanie **obnoviteľných** zdrojov energie má pozitívny vplyv na rozvoj spoločnosti. Zaraďujeme sem napr. slnečnú, **veternú**, vodnú a **geotermálnu** energiu, ako aj energiu prílivu a **odlivu**, energiu morských **vln** či biomasu.
19. Na využitie energie vody slúžia vodné elektrárne (**hydroelektrárne**), ktoré premieňajú silu prúdenia vody na **elektrickú** energiu.
20. **Biomasa** predstavuje organickú hmotu, ktorá vzniká zo živých organizmov. Obsahuje energiu zo **Slnka**, ktorú rastliny získavajú prostredníctvom fotosyntézy a ktorá sa následne uvoľňuje pri jej spaľovaní.
21. Bionafta sa získava spracovaním biomasy bohatej na **triacylglyceridy**. Po ich oddelení prebieha reakcia s **alkoholom**, pri ktorej vzniká **metylester** mastných kyselín a **glycerol**.
22. **Deriváty** sú zlúčeniny, ktoré vznikajú úpravou alebo zamenou funkčnej skupiny v pôvodnej molekule, čo vedie k zmene ich fyzikálnych aj chemických vlastností. Tento proces sa označuje ako **derivatizácia**.
23. Pri katalytickej reakcii sa **katalyzátor** najskôr naviaže na jednu z východiskových látok, pričom vzniká **medziproduktový** komplex. Následne tento komplex reaguje s druhou

východiskovou látkou, čím vzniká výsledný **produkt** a zároveň sa katalyzátor uvoľňuje v nezmenenej forme.

24. Ak je daná reakcia katalyzovaná niektorým zo vzniknutých produktov, tak hovoríme o **autokatalýze**.
25. **Biodegradovateľnosť** predstavuje schopnosť látok rozkladať sa pôsobením živých organizmov, ako sú baktérie či plesne, na jednoduchšie a environmentálne neškodné produkty, napr. **CO₂**, **CH₄** alebo vodu.
26. **DDT** je látka, ktorá sa hromadí v tukových tkanivách a môže sa šíriť na veľké vzdialenosti vo **vrchných** vrstvách atmosféry.

Otázky s priradením správnej odpovede

1. Vyberte a správnou separáciou roztried'te nižšie uvedené slová do kontajnerov: časopisy, sklenené črepy, fľaše od nápojov, konzervy, kartóny, zaváraninové fľaše, papierové obaly, poháre, vedrá, plechovky, fľaše od pracích prípravkov, plastové hračky.





2. Priradiť správne nasledovné slová (a-f) do skupín (1, 2).

Skupina 1: Patrí do kontajnera na sklo

- a.) poháre, 1
- b.) žiarovky, 2
- c.) zaváraninové fľaše, 1
- d.) zrkadlá, 2
- e.) sklenené črepy, 1

Skupina 2: Nepatrí do kontajnera na sklo

- f.) autosklo. 2

3. Podčiarknite materiály, ktoré nepatria do kontajnerov na papier:

zošity, pauzovací papier, papierové obaly, povoskovaný papier, kartóny, papier na pečenie, časopisy, hygienické potreby, kancelársky papier.

4. Doplňte tabuľku tak, aby v nej boli uvedené správne rozpúšťadlá:

metanol, formaldehyd, cyklohexanón, butyl-acetát, etanol, heptán, kyselina octová, zmes hexánov.

	Vhodné rozpúšťadlá	Nevhodné rozpúšťadlá
EHS	metanol, etanol	formaldehyd, kyselina octová
LCA	heptán, zmes hexánov	cyklohexán, butyl - acetát

5.3 Riešenia tematického celku Metódy zelenej chémie

Otvorené otázky

1. Uveďte nevýhody používania organických rozpúšťadiel.

vysoká horľavosť, sú toxické a karcinogénne, prchavosť

2. Napíšte, ako vznikajú superkritické kvapaliny a uveďte aspoň 1 príklad.

Superkritické kvapaliny vznikajú pri prekročení kritickej teploty a tlaku danej látky, pričom získavajú vlastnosti medzi kvapalinou a plynom. Napr. superkritický oxid uhličitý (CO₂).

3. Uveďte, aké unikátne vlastnosti majú iónové kvapaliny.

nízka prchavosť a vysoká tepelná stabilita

4. Vysvetlite na akom princípe fungujú guľové mlyny.

Guľové mlyny pracujú na princípe intenzívneho trenia a nárazov.

5. Uveďte výhody používania guľových mlynov.

Výhodou tejto metódy je, že sa dá použiť pri širokom spektre chemických reakcií.

6. Definujte ultrazvuk.

Pod pojmom ultrazvuk označujeme mechanické zvukové vlny s frekvenciou približne 16 kHz až 500 MHz,

7. Uveďte 3 oblasti, ktoré využívajú ultrazvuk.

medicína / priemysel / terapie / sonochémia.

8. Definujte mikrovlnné žiarenie.

Mikrovlnné žiarenie je elektromagnetické žiarenie s frekvenciou približne 300 MHz až 30 GHz, čo zodpovedá vlnovým dĺžkam v rozmedzí od 1 mm do 1 m.

9. Uved'te aspoň 3 výhody využívania mikrovlnného žiarenia.

Skrátenie reakčného času/ nízka spotreba energie/ vyšší výťažok reakcií/regulácia.

10. Napíšte 2 príklady najčastejšie používaných činidiel pri redukciách.

LiAlH_4 , NaBH_4

11. Napíšte 2 príklady najčastejšie používaných činidiel pri oxidáciách.

KMnO_4 , MnO_2

12. Vysvetlite na akom princípe funguje biokatalýza.

Je to katalytická reakcia za použitia enzýmov ako katalyzátorov.

13. Napíšte aspoň 3 výhody biokatalýzy.

zníženie odpadu / vodné prostredie reakcií / nízka toxicita / vyšší výťažok

14. Definujte fotochémiu, ako jednu z mnohých odvetví chémie.

Skúma chemické reakcie prebiehajúce pod vplyvom slnečného žiarenia.

15. Uved'te, ktorej známej menšej reakcii je zelenou alternatívou fotoacylácia.

Friedelovej–Craftsovej acylácii

Otázky s doplnením textu / vzorca / schémy

1. Hlavným cieľom „zelených“ metód a moderných technologických prístupov v chémii je napĺňanie princípov zelenej chémie, najmä 12 základných princípov.
2. Jednou z kľúčových oblastí zelenej chémie je aj vývoj a využívanie ekologickejších rozpúšťadiel, ktoré patria medzi základné princípy tohto smeru.
3. Superkritické kvapaliny vznikajú pri prekročení kritickej teploty a tlaku danej látky, pričom získavajú vlastnosti medzi kvapalinou a plynom. Najčastejšie využívaným príkladom je superkritický oxid uhličitý, ktorý je netoxický, nehorľavý a po reakcii sa dá jednoducho odstrániť znížením tlaku.

- Iónové kvapaliny sú zlúčeniny tvorené **iónmi**, ktoré majú veľmi nízku teplotu topenia, často pod **100 °C**.
- Typickým zariadením využívaným v mechanochemii sú **gul'ové mlyny**, ktoré pracujú na princípe intenzívneho **trenia** a nárazov.
- Pod pojmom ultrazvuk označujeme **mechanické** zvukové vlny s frekvenciou približne **16 kHz až 500 MHz**, teda **nad** hranicou počuteľnosti ľudského ucha.
- V chemických reakciách predstavuje ultrazvuk alternatívny zdroj **energie**, ktorý umožňuje tzv. **sonochemickú** aktiváciu reakčných systémov.
- Mikrovlnné žiarenie je **elektromagnetické** žiarenie s frekvenciou približne **300 MHz až 30 GHz**, čo zodpovedá vlnovým dĺžkam v rozmedzí od **1 mm do 1 m**.
- Cieľom využívania katalýzy a biokatalýzy je najmä **zníženie** tvorby odpadu a **zvýšenie** efektivity chemických syntéz.
- Z hľadiska fotochemie je obzvlášť významné žiarenie v oblasti vlnových dĺžok približne **200 až 700 nm**, pretože jeho energia často zodpovedá **excitačným** energiám mnohých organických zlúčenín.

Otázky s možnosťou výberu správnej odpovede

- 3 najvýznamnejšie metódy a nástroje zelenej chémie sú:
 - gul'ové mlyny**,
 - pretrepávanie 10 minút,
 - mikrovlnné reaktory**
 - ultrazvuky**.
- Hlavným cieľom zelených metód v chémii je:
 - napĺňanie 12 základných princípov**,
 - znižiť výrobu toxických látok,
 - obmedziť používanie energie,
 - využívanie neobnoviteľných zdrojov energie.

3. Používanie tradičných organických rozpúšťadiel má svoje nevýhody. Ktoré sú to?
 - a.) vysoká horľavosť,
 - b.) toxické a karcinogénne,
 - c.) nepríjemný zápach,
 - d.) prchavosť.

4. Superkritické kvapaliny vznikajú pri prekročení:
 - a.) kritickej teploty,
 - b.) kritickej hustoty,
 - c.) kritického tlaku,
 - d.) kritickej dĺžky.

5. Najčastejšie využívanou superkritickou kvapalinou je:
 - a.) superkritický síran meďnatý,
 - b.) superkritický oxid uhoľnatý,
 - c.) superkritický oxid uhličitý,
 - d.) superkritický siričitan meďnatý.

6. Pre iónové kvapaliny neplatí:
 - a.) sú zlúčeniny tvorené iónmi,
 - b.) majú nízku teplotu topenia,
 - c.) majú vysokú prchavosť,
 - d.) majú vysokú tepelnú stabilitu.

7. Energia do reakčných systémov môže byť dodaná rôznymi spôsobmi. Ktorý spôsob medzi nich nepatrí?
 - a.) elektrická energia,
 - b.) kavitačné procesy,
 - c.) mechanická energia,
 - d.) káblková technika.

8. Guľové mlyny patria medzi zariadenia:
- mechanochémie,
 - fotochémie,
 - sonochémie,
 - elektrochémia.
9. Guľové mlyny fungujú na princípe:
- ultrazvukových vln,
 - hydrodynamických javov,
 - trenia a drvenia,
 - vytváranie energie.
10. Ultrazvuk predstavujeme ako zvukové vlny s frekvenciou:
- 16kHz – 70kHz,
 - 16kHz – 500kHz,
 - 16kHz – 500MHz,
 - 16kHz – 70MHz.
11. Ultrazvuk sa využíva aj v oblasti chemického výskumu pod názvom:
- ultrachémia,
 - sonochémia,
 - elektrochémia,
 - termochémia.
12. Mikrovlnné žiarenie je elektromagnetické žiarenie s frekvenciou:
- 30 MHz – 300 GHz,
 - 300 GHz – 30 MHz,
 - 300 MHz – 300 GHz,
 - 300 MHz – 30 GHz.
13. Najčastejšie používané rozpúšťadlá pri redukciách sú:
- KMnO₄,
 - MnO₂,
 - LiAlH₄,
 - NaBH₄.

14. Najčastejšie používané rozpúšťadlá pri oxidáciách sú:

- a.) MnO_2 ,
- b.) $KMnO_4$,
- c.) $NaBH_4$,
- d.) $LiAlH_4$.

15. Fotoacylácia je zelenou alternatívou:

- a.) Friedelovej – Craftsovej alkylácie,
- b.) Friedelovej – Craftsovej acylácie,
- c.) Grignardovej reakcie,
- d.) Dielsovej – Alderovej reakcie.

Otázky s priradením správnej odpovede

1. Priradte do uvedených skupín nasledovné slová:

redukcia ketónov, drviace guľičky, katalyzátory, fotoacylácia, elektromagnetické žiarenie, 16 kHz – 500 MHz, sonochemia, trenie, mechanochemia, obmedzenie použitia rozpúšťadiel, aktivačná energia, enzýmy, cyklohexanón + nitrobenzaldehyd, kyselina salicylová + hydrazín, ultrazvukový kúpeľ, 300MHz – 30GHz, mikrovlnný reaktor, 1,4-naftochinón, slnko, oxidácia toluénu manganistanom draselným, 200 až 700 nm.

<https://learningapps.org/watch?v=pcte1bkft26>

Guľový mlyn	Ultrazvuk	Mikrovlnné žiarenie	Katalýza a biokatalýza	Fotochemia
mechanochemia, obmedzenie použitia rozpúšťadiel, trenie, drviace guľičky, cyklohexanón + nitrobenzaldehyd	ultrazvukový kúpeľ, kyselina salicylová + hydrazín, 16 kHz – 500 MHz, sonochemia	elektromagnetické žiarenie, mikrovlnný reaktor, 300 MHz – 30 GHz, oxidácia toluénu manganistanom draselným	katalyzátory, aktivačná energia, redukcia ketónov, enzýmy	slnko, fotoacylácia, 1,4-naftochinón, 200 až 700 nm

2. Nájdite všetky slová v osemsmernovke:

fotochémia, ekologickosť, katalýza, slnko, zelená, guľičky, sonochémia, princípy, rozpúšťadlá, acylácia, chémia, metódy, ultrazvuk, toluén, voda.

<https://learningapps.org/watch?v=paicbyug526>



v	l	o	t	v	w	v	a	n	k	g	p	n	s	o	n	y	x	b	g	l	r	z	z	e	m	f	u	j	m	q
l	k	j	n	d	q	l	v	i	w	q	s	z	l	p	l	i	e	z	w	y	u	m	j	t	g	o	p	i	g	
v	o	u	r	z	w	l	h	e	á	h	k	i	i	n	h	e	k	e	r	j	e	q	w	s	n	k	e	c	b	
f	m	r	a	q	z	e	x	l	h	i	x	c	s	c	k	u	m	l	s	f	x	c	c	j	v	i	t	b	p	
y	t	e	h	j	i	o	c	d	b	a	a	n	p	z	u	j	o	i	e	k	o	l	o	g	i	c	k	o	s	t
x	g	o	k	s	w	e	a	e	k	p	i	m	v	j	c	k	g	u	n	g	t	e	w	b	t	u	e	i	h	n
d	t	i	g	n	g	t	h	h	s	r	v	d	e	f	v	k	l	z	á	m	o	c	o	z	x	d	n	x	m	z
j	y	a	h	j	š	a	m	x	p	o	r	x	u	r	b	z	s	o	n	o	c	h	é	m	i	a	j	l	h	i
b	v	f	z	ú	q	u	c	h	z	r	n	u	e	f	l	r	s	a	y	c	h	é	m	i	a	r	m	t	m	b
d	g	v	p	u	m	n	n	y	r	m	a	v	q	w	v	f	t	o	l	u	é	n	p	c	d	k	l	m	d	o
d	g	z	w	h	q	r	l	p	l	z	w	i	p	i	u	o	x	b	e	i	m	e	t	ó	d	y	e	g	v	l
n	o	h	t	v	x	s	m	m	l	á	v	h	q	q	h	a	d	g	u	l	i	č	k	y	p	l	d	j	j	z
r	t	f	h	s	i	l	u	x	u	j	c	x	v	g	u	j	c	a	z	k	a	t	a	l	y	z	a	y	k	y
o	c	e	g	m	m	p	k	k	b	l	c	i	t	l	i	u	l	y	j	v	e	b	e	i	o	g	e	w	m	y
z	u	j	o	o	a	k	y	t	f	p	t	m	a	f	d	r	h	x	f	d	y	i	a	w	b	h	m	s	g	l
y	o	l	g	v	x	w	y	s	n	o	u	r	y	e	r	s	l	e	s	b	x	p	o	e	i	n	b	s	z	j
x	s	i	x	y	i	r	u	e	b	f	r	p	a	u	j	b	o	t	d	u	t	r	g	p	u	n	b	p	r	n
c	n	p	q	d	s	w	w	q	r	y	p	p	o	z	r	w	z	t	k	w	b	v	e	e	z	t	y	l	n	s
g	o	z	h	h	z	e	k	z	c	f	v	f	b	v	r	n	i	l	u	h	g	l	n	t	y	v	w	b	u	
r	k	g	h	s	w	p	x	v	a	l	c	e	l	q	y	u	v	t	g	u	v	y	k	y	k	h	c	u	q	k
x	g	r	v	d	w	u	k	l	v	s	a	n	b	h	w	s	k	m	b	b	p	f	x	l	u	w	l	y	p	j

3. Vylúštite krížovku.

<https://learningapps.org/watch?v=pfob9umyk26>

1. Mechanické zvukové vlny s frekvenciou 16 kHz až 500 MHz.
2. Čas priebehu reakcie.
3. Elektromagnetické žiarenie s frekvenciou 300 MHz až 30 GHz.
4. _____ kritické kvapaliny.
5. Nástroj mechanochemie.
6. Alternatíva Friedelovej - Craftsovej acylácie za použitia slnečného žiarenia.
7. Odvetvie chémie zaoberajúce sa ultrazvukom.
8. N₂H₄
9. Zlúčeniny tvorená iónmi s nízkou teplotou topenia.
10. Silné oxidovadlo
11. Typ katalýzy používajúca enzýmy a iné prírodné látky, ako katalyzátory.
12. Priezvisko zakladateľa zelenej chémie.

ZÁVER

Predkladaná vysokoškolská učebnica bola koncipovaná s cieľom poskytnúť ucelený pohľad na problematiku organickej chémie v kontexte princípov zelenej chémie a ich aplikácie vo vzdelávacom procese. V jednotlivých kapitolách boli postupne predstavené základné teoretické východiská organickej chémie, historické a koncepčné základy zelenej chémie, ako aj jej kľúčové princípy, ktoré tvoria základ environmentálne zodpovedného prístupu k chemickým procesom. Osobitná pozornosť bola venovaná aj moderným metódam a technológiám, ktoré umožňujú implementáciu týchto princípov do praxe, a tým prispievajú k znižovaniu negatívnych dopadov chemickej činnosti na životné prostredie.

Zelená chémia v súčasnosti predstavuje neoddeliteľnú súčasť modernej chemickej vedy. Jej význam neustále rastie v dôsledku globálnych environmentálnych výziev, ako sú zmena klímy, znečistenie životného prostredia, či vyčerpávanie prírodných zdrojov. Uplatňovanie princípov zelenej chémie preto nemožno vnímať ako doplnok k tradičnému chemickému mysleniu, ale ako jeho prirodzenú transformáciu smerom k udržateľnosti. Práve schopnosť navrhovať bezpečnejšie, efektívnejšie a ekologickejšie chemické procesy predstavuje jednu z kľúčových kompetencií súčasných aj budúcich chemikov.

Dôležitým aspektom tejto publikácie je jej orientácia na prípravu budúcich učiteľov chémie. Pedagogickí pracovníci zohrávajú zásadnú úlohu pri formovaní hodnotového systému žiakov a študentov, a preto je nevyhnutné, aby boli schopní sprostredkovať nielen odborné poznatky, ale aj širšie súvislosti týkajúce sa ochrany životného prostredia, bezpečnosti práce a udržateľného rozvoja. Integrácia princípov zelenej chémie do vyučovania môže významne prispieť k rozvoju kritického myslenia, environmentálnej gramotnosti a zodpovedného správania mladých ľudí.

Zahrnutie otázok a úloh, ako aj ich riešení, má za cieľ podporiť aktívne osvojovanie vedomostí a rozvoj analytických schopností študentov. Riešenie praktických problémov umožňuje lepšie pochopenie preberanej problematiky a zároveň vytvára priestor pre aplikáciu teoretických poznatkov v konkrétnych situáciách. Tento prístup je v súlade s modernými trendmi vo vzdelávaní, ktoré zdôrazňujú aktívnu účasť študenta na procese učenia sa a jeho schopnosť prepájať poznatky z rôznych oblastí.

Význam zelenej chémie presahuje hranice laboratória a akademického prostredia. Jej princípy nachádzajú uplatnenie v priemysle, výskume, ale aj v každodennom živote jednotlivcov. Voľba vhodných materiálov, minimalizácia odpadu, efektívne využívanie energie, či preferovanie obnoviteľných zdrojov sú aspekty, ktoré môže ovplyvniť každý z nás. Práve

vzdelávanie zohráva kľúčovú úlohu pri šírení týchto myšlienok a pri budovaní spoločnosti, ktorá si uvedomuje svoju zodpovednosť voči budúcim generáciám.

Je potrebné zdôrazniť, že implementácia princípov zelenej chémie do praxe si vyžaduje interdisciplinárny prístup, spoluprácu odborníkov z rôznych oblastí a neustály rozvoj nových technológií. Pokrok v tejto oblasti je podmienený nielen vedeckým výskumom, ale aj legislatívnymi opatreniami, ekonomickými stimulmi a spoločenským dopytom po udržateľných riešeniach. V tomto kontexte má vzdelávanie nezastupiteľné miesto, keďže pripravuje odborníkov schopných reagovať na aktuálne výzvy a podieľať sa na tvorbe inovatívnych riešení.

Záverom možno konštatovať, že cieľom tejto učebnice bolo nielen sprostredkovať základné poznatky z oblasti zelenej organickej chémie, ale aj podnietiť čitateľa k zamysleniu sa nad širšími súvislosťami chemickej činnosti. Veríme, že publikácia prispeje k rozšíreniu povedomia o význame zelenej chémie a stane sa užitočným nástrojom pre študentov aj pedagógov. Nadobudnuté vedomosti a zručnosti môžu následne prispieť k formovaniu zodpovedného prístupu k vede, prírode a spoločnosti ako celku.

Budúcnosť nielen chémie bude nevyhnutne spojená s princípmi udržateľnosti. Práve preto je dôležité, aby sa tieto princípy stali prirodzenou súčasťou vzdelávacieho procesu už v príprave budúcich učiteľov. Tí budú následne schopní ovplyvňovať ďalšie generácie a prispievať k vytváraniu environmentálne uvedomelej spoločnosti. Veríme, že táto učebnica predstavuje krok týmto smerom a že jej obsah bude inšpiráciou pre ďalšie štúdium, výskum i pedagogickú prax.

Radi by sme sa touto cestou poďakovali aj našim recenzentom dr. hab. inž. Marcin Kostrzewa prof. URad a Mgr. Marte Kuhnovej, PhD. za spoluprácu a cenné rady pri tvorbe skript. Ich dlhoročné skúsenosti sú pre nás nenahraditeľné a veľmi obohacujúce.

POUŽITÁ LITERATÚRA

1. ANASTAS, P. and EGHBALI, N., (2010). Green Chemistry: Principles and Practice. Online. *Chemical Society Reviews*, iss. 1, no. 39, pp. 301–312. Available from: <https://doi.org/10.1039/B918763B> [viewed 2025-09-21].
2. ANASTAS, T. P.; KIRCHHOFF, M. M., (2002). Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry. Online. *Accounts of Chemical Research*, vol. 35, iss. 9, pp. 686–694. Available from: <https://doi.org/10.1021/ar010065m> [viewed 2025-09-21].
3. ASIMOV, I., (1965). A Short History of Chemistry. New York: Doubleday & Company, Inc., 263 p. ISBN 978-0385036733.
4. BARKA, Š., (2015). Elektrochemická schémata a zapojení v praxi 1. 1. vyd. Brno: Computer Press- Albatros Media a.s., 232 s. ISBN 978-80-251-4598-2.
5. BEASLEY, M., (1992). Xylene. New Zealand: University of Otago Medical School. Online. Available from: [https://www.inchem.org/documents/pims/chemical/xylene.htm#PartTitle:14.%20AUTHOR\(S\),%20REVIEWER\(S\),%20DATE\(S\)%20\(INCLUDING%20UPDATES\),%20COMPLETE%20ADDRESSES](https://www.inchem.org/documents/pims/chemical/xylene.htm#PartTitle:14.%20AUTHOR(S),%20REVIEWER(S),%20DATE(S)%20(INCLUDING%20UPDATES),%20COMPLETE%20ADDRESSES) [viewed 2025-09-21].
6. BUHANEC, J.; MIKLER, J.; ĎURDÍK, P. a ČILJAKOVÁ, M., (2005). *Vitamín C – čo o ňom (ne)vieme*. *Klinická farmakologie a farmacie*, roč. 19, č. 1, s. 53–56. ISSN 1212-7973.
7. CINTAS, P., (2016). Ultrasound and Green Chemistry - Further Comments. Online. *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 28, pp. 257–258. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.07.024> [viewed 2025-09-10].
8. CLARK, H. J. and MACQUARRIE, D., (2002). Handbook of Green Chemistry and Technology. Online. United Kingdom: Blackwell Science Ltd, 540 p. ISBN 0-632-05715-7. Available from: <https://doi.org/10.1002/9780470988305> [viewed 2025-09-10].

9. CLARK, J. and MACQUARRIE, D., (2002). Handbook of Green Chemistry and Technology. 1. ed. Blackwell Science Ltd, 564 p. ISBN 978-0-632-05715-3.
10. COYLE, E., (2010). Green Photochemistry the synthesis of fine chemicals with sunlight. PhD Thesis. Online. Dublin: School of Chemical Sciences, Dublin City University, 275 p. Available from: https://doras.dcu.ie/15389/1/Emma_Coyle_PhD_thesis.pdf [viewed 2025-11-24].
11. DALIDOVICH, I. and PALKOVITS, R., (2016). Catalytic versus Stoichiometric Reagents as a Key Concept for Green Chemistry. Online. *Green Chemistry*, vol. 18, no. 3, pp. 590–593. Available from: <https://doi.org/10.1039/C5GC90070K> [viewed 2025-09-10].
12. DEY, P. S. and SEPAY, N., (2021). A Textbook of Green Chemistry. Kolkata: TECHNO WORLD, 418 p. ISBN 978-93-92145-03-2.
13. DOBLE, M. and KRUTHIVENTI, K. A., (2007). Green Chemistry and Engineering. UK: Elsevier Inc.- Academic Press, p. 344 ISBN 978-0-12-372532-5.
14. DRATHS, M. K. and FROST, W. J., (1994). Environmentally Compatible Synthesis of Adipic Acid from D-Glucose. Online. *Journal of the American Chemical Society*, vol. 116, iss. 1, pp. 399–400. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja00080a057> [viewed 2023-12-29].
15. EGOROV, N. I.; SANTRA, S.; KOPCHUK, S. D. et al., (2020). Ball-milling: An Efficient and Green Approach for Asymmetric Organic Synthesis. Online. *Green Chemistry* vol. 22, iss. 2, pp. 302–315. Available from: <https://doi.org/10.1039/C9GC03414E> [viewed 2024-03-28].
16. ELEČKO, P.; MEČIAROVÁ, M.; PUTALA, M.; SALIŠOVÁ, M. and ŠRAGA, J., (1998). *Laboratórne cvičenie z organickej chémie*. Univerzita Komenského v Bratislave.
17. FESZTEROVÁ, M., (2018). *Zásady bezpečnej práce, chemické látky a likvidácia odpadov*. Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, 152 s. ISBN 978-80-558-1365-3.

18. FESZTEROVÁ, M. a JAKUBČINOVÁ, J., (2023). *Organická chémia, Laboratória pre rozširujúce štúdium*. Online. Nitra: Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, 131 s. ISBN 978-80-558-2037-8. Dostupné z: <https://doi.uk.ukf.sk/index.php/fpv-edicia-prirodovedec/catalog/view/44/45/178> [citované 2025-01-04].
19. FRANKOVSKÁ, J.; KORDÍK, J.; SLANINKA, I. a ďalší, (2010). Atlas sanačných metód environmentálnych záťaží. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra. 360 s. ISBN 978-80-89343-39-3.
20. GAGNON, T. K.; JU, Y. S.; GOSHE, B. M., (2009). A Role for Hydrophobicity in Diels-Alder Reaction Catalyzed by Pyridyl-Modified RNA. Online. *Nucleic Acids Research*, vol. 37, iss. 9, pp. 3074–3082. Available from: <https://academic.oup.com/nar/article/37/9/3074/1158100?searchresult=1> [viewed 2024-02-26].
21. GALINDO, S. A.; FACIO, A.; HERRERA, R. R., (2020). *Green Chemistry and Applications*. Florida: CRC Press, 300 p. ISBN 9781000220087.
22. GONZÁLEZ, J. C. and CONSTABLE, C. J. D., (2011). *Green Chemistry and Engineering*. New Jersey: John Willey & Sons. Inc., 680 p. ISBN 978-0-17087-8.
23. GREWAL, S. A.; KUMAR, K.; REDHU, S. et al., (2013). Microwave Assisted Synthesis: A Green Chemistry Approach. Online. *International Research Journal of Pharmaceutical and Applied Sciences*, vol. 3, iss. 5, pp. 278–285. Available from: www.irjpas.com [viewed 2024-03-29].
24. HAVRELETOVÁ, M.; GREGUSOVÁ, V.; CHMELOVÁ, D., (2021). *Laboratórne cvičenia z biológie II*. Online. Trnava: Univerzita sv. Cyrila a Metoda v Trnave, 117 s. Dostupné z: https://www.ucm.sk/files/sk/ine-pracoviska/centrum-informacnych-zdrojov-ucm-trnave/referat-informacnych-sluzieb/e-zdroje/ucebne-texty-kstiahnutiu/laboratorne_cvicenia_z_biologie_ii_chran.pdf [citované 2025-01-04].
25. HORIKOSHI, S. and SERPONE, N., (2016). *Microwaves in Catalysis: Methodology and Applications*. Weinheim: Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. ISBN 978 3527688111. Available from: https://application.wileyvch.de/books/sample/3527338152_c01.pdf [viewed 2025-11-18].

26. CHATEL, G., and VARMA, S. R., (2019). Ultrasound and Microwave Irradiation: Contributions of Alternative Physicochemical Activation Methods to Green Chemistry. Online. *Green Chemistry*, vol. 21, iss. 22, pp. 6043–6050. Available from: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/gc/c9gc02534k> [viewed 2024-03-29].
27. IVANKOVIĆ, A.; DRONJIĆ, A.; BEVANDA, A. M. and TALIC, S., (2017). Review of 12 Principles of Green Chemistry in Practice. Online. *International Journal of Sustainable and Green Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 39–48. Available from: <https://doi.org/10.11648/j.ijrse.20170603.12> [viewed 2025-10-22].
28. KALE, A.; HINGE, B. V. and KALE, A. A., (2024). Principles of Green Chemistry: Innovative Approach for Sustainability Development. Online. *International Journal of Current Science*, vol. 14, iss. 3, pp. 15–27. Available from: <https://rjpn.org/ijcspub/papers/IJCSP24C1002.pdf> [viewed 2025 10 22].
29. KANIANSKA, R.; JAĐUĐOVÁ, J.; MARKOVÁ, I., (2017). *Zelená Ekonomika*. Banská Bystrica: Belianum, Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, 183 s. ISBN 978-80-557-1258-1.
30. KATRE, D.; HINGE, B. V. and KALE, A. A., (2024). Microwaves in Organic Synthetic Chemistry – A Greener Approach to Environmental Protection: An Overview. Online. *Asian Journal of Green Chemistry*, vol. 8, iss. 1, pp. 68–80. Available from: https://www.ajgreenchem.com/article_178730.html [viewed 2025-11-16].
31. KAUPP, G., (2009). Mechanochemistry: The Varied Applications of Mechanical Bond-Breaking. Online. *Crystal Engineering Communication*, vol. 11, iss. 3, pp. 388–403. Available from: <https://doi.org/10.1039/B810822F> [viewed: 2024-03-25].
32. KOSHELEVA, O. and KREINOVICH, V., (2014). Kekule's Benzene Structure: A Case Study of Teaching Usefulness of Symmetry. Online. *Departmental Technical Reports (CS)*, vol. 14, no. 8, pp. 1–7. Available from: https://www.researchgate.net/publication/287329171_Kekule's_benzene_structure_A_case_study_of_teaching_usefulness_of_symmetry [viewed 2023-11-08].

33. KVASNIČKOVÁ, D. a ŠEVČÍK, J., (2004). *Základy ekológie*. Praha: Fortuna-JUDr. František Talián, 104 s. ISBN 80-7168-902-5.
34. LEI, Z.; CHEN, B.; KOO, M. Y. et al. (2017). Introduction: Ionic Liquids. Online. *Chemical Reviews*, vol. 117, iss. 10, pp. 6633–6635. Available from: <https://doi.org/10.1021/acs.Chemrev.7b00246> [viewed 2024-3-25].
35. LINKEŠOVÁ, M., (2010). *Kapitoly z histórie chémie*. 2. vyd. Trnava: Trnavská Univerzita v Trnave, 110 s. ISBN 978-80-8082-399-3.
36. MAGA, J. a PISZCZALKA, J., (2006). *Biomasa ako zdroj energie obnoviteľnej energie*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. 104 s. ISBN 9788080696795.
37. MAGDOLEN, P.; MEČIAROVÁ, M.; POLÁČKOVÁ, V. a VEVERKOVÁ, E., (2016). *Praktikum z organickej chémie*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, 146 s. ISBN 978-80-2233958-2.
38. MAGDOLEN, P.; MEČIAROVÁ, M.; POLÁČKOVÁ, V. a VEVERKOVÁ, E., (2013). *Laboratórne cvičenia z organickej chémie pre nechemické odbory*. Bratislava: Séria Omega Info, Chemická literatúra 15, 101 s. ISBN 978-80-89337-08-8.
39. MAJHI, S.; MANICKAM, S. and CRAVOTTO, G., (2025). Ultrasound assisted green synthesis of functionalised xanthene derivatives: Advancing sustainable sonochemical strategies. Online. *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 118, pp. 1–25. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107367> [viewed 2025-11-13].
40. MANAHAN, E. S., (2010). *Green Chemistry and the Ten Commandments of Sustainability*. 3. vyd. Columbia, Missouri U.S.A: ChemChar Research Publisher. 432 p. ISBN 978- 0615433837.
41. McMURRY, J., (2015). *Organická chémie*. Brno: Vysoké učení technické v Brne: VUTIUM, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 1178 s. ISBN 978-80-214-3291-8 / 978-80-7080-637-1.
42. MEČIAROVÁ, M., (2013). *Prednášky predmetu „Zelená chémia“*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave.
43. MELNIKOV, K., (2024). *Návody na praktické cvičenia z analytickej chémie*. Online. Trnava: TYPI UNIVERSITAS TYRNAVIENSIS, 105 s. ISBN 978-80-568-0640-1.

- Dostupné z: https://fzsp.truni.sk/sites/default/files/dokumenty/e_kniznica/_doi/Melnikov-Navody-na-prakticke-cvicenia-z-analytickej-chemie.pdf [citované 2025-01-04].
44. MORÃO, A. and BIE, F., (2019). Life Cycle Impact Assessment of Polylactic Acid (PLA) Produced from Sugarcane in Thailand. Online. *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 27, pp. 2523–2539. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01525-9> [viewed 2024-04-01].
45. OELGEMÖLLER, M.; JUNG, CH.; MATTAY, J., (2007). Green Photochemistry: Production of Fine Chemicals with Sunlight. Online. *International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)*, vol. 79, no. 11, pp. 1939–1947. Available from: <https://doi.org/10.1351/pac200779111939> [viewed 2024-04-01].
46. ORAVEC, M., (2011). *Manažérstvo priemyselných havárií*. Košice: ICV TU Košice. 63 s. ISBN 978-80-553-0727-5.
47. PARTINGTON, R. J., (1989). *A Short History of Chemistry*. 3. vyd. New York: Dover Publications, Inc., 415 p. ISBN 9780486659770.
48. RANA, A., (2020). Green chemistry and sustainable development. Online. *Prayogik Rasayan*, vol. 4, no. 4, pp. 5–10. Available from: <https://doi.org/10.53023/p.rasayan20201211> [viewed 2025 10 20].
49. RENO, J., (2018). What is Waste?. Online. *Worldwide Waste Journal of Interdisciplinary Studies*, vol. 1, iss. 1, pp. 2–6. Available from: https://www.researchgate.net/publication/326288337_What_is_Waste [viewed 2024-01-15].
50. RUSSELL, A.; EKVALL, T. and BAUMANN, H., (2005). Life Cycle Assessment-Introduction and Overview. Online. *Journal of Cleaner Production*, vol. 13, pp. 1207–1210. Available from: https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/11745/local_11745.pdf [viewed 2024-02-13].
51. ŘEZNÍČEK, T. a PROCHÁZKA, O., (2002). Hospodárné zplyňování. Online. *Odpadové fórum*. roč. 02. č. 3, s. 8. ISSN 1212-7779 Dostupné z: <https://odpadoveforum.cz/upload/pageFiles/eof-03-2020-pdf.pdf> [citované 2024-2-13].

52. SALEH, H. E. D. M. and KOLLER, M., (2018). Green Chemistry. Online. Rijeka: IntechOpen, 190 p. ISBN 978 953 51 3848 8. Available from: <https://www.intechopen.com/books/6067> [viewed 2024-03-20].
53. SEČKOVÁ, J. a GANAJOVÁ, M., (2012). Energia a jej zdroje vo výučbe chémie. Košice: Equilibria. 114 s. ISBN 978-80-8143-029-9.
54. SHARMA, A.; WAKODE, S.; SHARMA, S. et al. (2020). Methods and Strategies Used in Green Chemistry: A Review. Online. *Current Organic Chemistry*, vol. 24, iss. 22, s. 2555–2565. Available from: <https://www.eurekaselect.com/article/108819> [viewed 2024-03-20].
55. SHELDON, R. A.; ARENDS, I.; HANEFELD, U., (2007). Green Chemistry and Catalysis. Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., 414 p. ISBN 978-3-527-30715-9.
56. SHELDON, R. A. and WOODLEY, M. J., (2018). Role of Biocatalysis in Sustainable Chemistry. Online. *Chemical Reviews*, vol. 118, iss. 2, pp. 801–838. Available from: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00203> [viewed 2024-04-01].
57. SINGH, P. V. and PANDEY, K. S., (2015). Catalytic Synthesis of Hydroquinone by Using Rh on Al₂O₃ Via Different Rout. Online. *American Journal of Optics and Photonics*, vol. 3, iss. 5, pp. 85–88. Available from: <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.ajop.20150305.15> [viewed 2024-03-15].
58. SITA. (2010). ŠALA: Požiar v Dusle je uhasený. Online. Dostupné z: <https://sita.sk/sala-poziar-v-dusle-je-uhaseny/> [viewed 2024-03-28].
59. STOLLE, A.; SZUPPA, T.; SILKE, E. S. L. et al. (2011). Ball Milling in Organic Synthesis: Solution and Challenges. Online. *Chemical Society Reviews*, vol. 40, iss. 5, pp. 2317–2329. Available from: <https://doi.org/10.1039/C0CS00195C> [viewed 2024-03-28].
60. STUPÁK, M.; MAŠLANKOVÁ, J.; URBAN, P. a ďalší, (2012). *Lekárska chémia Návod y a protokoly na praktické cvičenia*. Online. Košice: Univerzita P. J. Šafárika v Košiciach, 169 s. ISBN 978-80-7097-973-0. Dostupné z: <https://unibook.upjs.sk/img/cms/2012/lf/lekarska-chemia-final.pdf> [citované 2025-01-04].

61. ŠIBOR, J., KUCHYŇKOVÁ, K., (2006). Zelená chemie. Online. Brno: Masarykova univerzita, 37 s. Dostupné z: <http://svp.muni.cz/ukazat.php?docId=308> [viewed 2024-03-25].
62. TABASSO, S.; CARNAROGLIO, D.; GAUDINO, C. E. and CRAVOTTO, G., (2014). Microwave, ultrasound and ball mill procedures for bio-waste valorisation. Online. *Green Chemistry*, vol. 17, no. 2, pp. 684–693. Available from: <https://doi.org/10.1039/C4GC01545B> [viewed 2025-10-26].
63. TEPLÝ, P.; ŠMEJKAL, P.; ZASPALOVÁ, J. a ďalší, (2024). Chemické pokusy na doma. Online. Praha: Univerzita Karlova v Prahe, 18 s. Dostupné z: <https://www.chemickeprvky.cz/res/pdf/chemicke-pokusy-na-doma.pdf> [citované 2025-01-04].
64. THAMBILYAGODAGE, C. and WIJESEKERA, R., (2022). Ball milling – A green and sustainable technique for the preparation of titanium based materials from ilmenite. Online. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, vol. 5, 100236. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100236> [viewed 2025-10-28].
65. TROST, B. M., (2002). On Inventing Reactions for Atom Economy. Online. *Accounts of Chemical Research*, vol. 35, iss. 9, pp. 695–705. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ar010068z> [viewed 2024-3-28].
66. TROST, B. M. and LI, J. CH., (2015). Modern Alkyne Chemistry-Catalytic and Atom-Economic Transformations. Online. *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 54, iss. 29, pp. 8332. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/anie.201504981> [viewed 2024-03-28].
67. VARGOVÁ, Z.; ALMÁŠI, M.; KUCHAR, J. a SINAJOVÁ, J., (2019). *Základné laboratorne cvičenia z anorganickej chémie*. Online. Košice: ŠafárikPress, 153 s. ISBN 978-80-8152-794-4. Dostupné z: <https://unibook.upjs.sk/img/cms/2019/pf/zakladne-laboratorne-cvicenia-z-anorganickej-chemie-final.pdf> [viewed 2025-01-02].
68. VINK, E. T. H.; RÁBAGO, K. R.; GLASSNER, D. A.; SPRINGS, B.; O'CONNOR, R. P.; KOLSTAD, J. and GRUBER, P. R., (2004). The Sustainability of NatureWorks™ Polylactide Polymers and Ingeo™ Polylactide Fibers: an Update of the Future. Online. *Macromolecular Bioscience*, vol. 4, no. 6, pp. 551–564. Available from: <https://doi.org/10.1002/mabi.200400023> [viewed 2025-09-25].

69. VOEVODINA, I. and KRŽAN, A., (2013). Bio-Based Polymers. Online. *Plastice- Innovative value chain development for sustainable plastics in Central Europe: Project*. pp. 1–8. Available from: <https://docplayer.net/28568610-Bio-based-polymers-irina-voevodina-andrej-krzan.html> [viewed 2024-03-18].
70. WAITE, R., (1995). Household Waste Recycling. London: Routledge. 194 p. ISBN 978-13-150-6635-6.
71. WENDER, A. P., (2014). Toward the ideal synthesis and molecular function through synthesis- informed design. Online. *Natural Product Reports*, vol. 31, iss. 4, pp. 433–440. Available from: <https://doi.org/10.1039/C4NP00013G> [viewed 2024-04-01].
72. ZÁHRADNÍK, P.; MEČIAROVÁ, M. a MAGDOLEN, P., (2015). *Organická chémia*. Univerzita Komenského v Bratislave, 404 s. ISBN 978-80-223-3850-9.
73. ZAPLETAL, V., (2015). Závislosť človeka na prírode v kontexte globálnych zmien. Online. In Zborník z V. medzinárodnej konferencie. s. 125-129. Available from: https://www.sszp.eu/wp-content/uploads/2015_conference_GER_p-125_Zapletal_-_The-Dependence-_f4.pdf [viewed 2024-02-24].
74. ZELENÁ CHÉMIA A JEJ IMPLEMENTÁCIA DO VYUČOVANIA CHÉMIE. (2025). Didaktika.eu. Online. Available from: https://www.didaktika.eu/wp-content/uploads/2017/08/Didaktick%C3%BD_manu%C3%A1l.pdf [viewed 2025-09-10].

PRÍLOHY

- Príloha 1** Zoznam výstražných upozornení o nebezpečnosti chemických látok a ich zmesí (H - vety), súčasť GHS
- Príloha 2** Zoznam bezpečnostných opatrení na bezpečné zaobchádzanie s chemickými látkami a ich zmesami (P - vety), súčasť GHS

Príloha 1 Zoznam výstražných upozornení o nebezpečnosti chemických látok a ich zmesí (H - vety), súčasť GHS

H200	Nestabilná výbušnina.
H201	Výbušnina; nebezpečenstvo rozsiahleho výbuchu.
H202	Výbušnina; vážne nebezpečenstvo zasiahnutia časticami.
H203	Výbušnina; nebezpečenstvo požiaru, tlakovej vlny alebo zasiahnutia časticami.
H204	Nebezpečenstvo požiaru alebo zasiahnutia časticami.
H205	Pri požari môže spôsobiť masívny výbuch.
H220	Extrémne horľavý plyn.
H221	Horľavý plyn.
H222	Extrémne horľavý aerosól.
H223	Horľavý aerosól.
H224	Extrémne horľavá kvapalina a pary.
H241	Zahrievanie môže spôsobiť požiar alebo výbuch.
H242	Zahrievanie môže spôsobiť požiar.
H250	Pri styku so vzduchom sa samovoľne vznieti.
H251	Samovoľne sa zahrieva: môže sa vznietiť.
H252	Vo veľkom množstve sa samovoľne zahrieva; môže sa vznietiť.
H260	Pri styku s vodou uvoľňuje horľavé plyny, ktoré sa môžu samovoľne vznietiť.
H261	Pri styku s vodou uvoľňuje horľavé plyny.
H270	Môže spôsobiť alebo zosilniť požiar; oxidant.
H271	Môže spôsobiť požiar alebo výbuch; silný oxidant.
H272	Môže zosilniť požiar; oxidant.
H280	Obsahuje plyn pod tlakom; pri zahriatí môže vybuchnúť.
H281	Obsahuje schladený plyn; môže spôsobiť omrzliny alebo poškodenie chladom.
H290	Môže byť korozívna pre kovy.
H300	Pri požití môže spôsobiť smrť.
H301	Toxický pri požití.
H302	Zdraviu škodlivý pri požití.
H304	Pri požití a vniknutí do dýchacích ciest môže spôsobiť smrť.
H310	Pri styku s pokožkou môže spôsobiť smrť.
H311	Jedovatý pri kontakte s pokožkou.
H312	Škodlivý pri kontakte s pokožkou.

H314	Spôsobuje ťažké poleptanie kože a poškodenie očí.
H315	Dráždi kožu.
H317	Môže vyvolať alergickú kožnú reakciu.
H318	Spôsobuje vážne poškodenie očí.
H319	Spôsobuje vážne podráždenie očí.
H330	Pri vdýchnutí môže spôsobiť smrť.
H331	Jedovatý pri vdýchnutí.
H332	Škodlivý pri vdýchnutí.
H334	Pri vdýchnutí môže vyvolať alergiu alebo príznaky astmy, alebo dýchacie ťažkosti.
H335	Môže spôsobiť podráždenie dýchacích ciest.
H336	Môže spôsobiť ospalosť alebo závraty.
H340	Môže spôsobiť genetické poškodenie.
H341	Podozrenie na genetické poškodenie.
H350	Môže vyvolať rakovinu.
H351	Podozrenie na vyvolanie rakoviny.
H360	Môže poškodiť plodnosť alebo plod v tele matky.
H361	Podozrenie na poškodenie plodnosti alebo plodu v tele matky.
H362	Môže spôsobiť poškodenie dojčiat prostredníctvom materského mlieka.
H370	Spôsobuje poškodenie orgánov.
H371	Môže spôsobiť poškodenie orgánov.
H372	Spôsobuje poškodenie orgánov pri dlhšej alebo opakovanej expozícii.
H373	Môže spôsobiť poškodenie orgánov pri dlhšej alebo opakovanej expozícii.
H400	Vysoko toxický pre vodné organizmy.
H410	Vysoko toxický pre vodné organizmy, s dlhodobými účinkami.
H411	Jedovatý pre vodné organizmy, s dlhodobými účinkami.
H412	Škodlivý pre vodné organizmy, s dlhodobými účinkami.
H413	Môže spôsobiť dlhodobé škodlivé účinky pre vodné organizmy.
H373	Môže spôsobiť poškodenie orgánov pri dlhšej alebo opakovanej expozícii.
H400	Vysoko toxický pre vodné organizmy.
H410	Vysoko toxický pre vodné organizmy, s dlhodobými účinkami.
H411	Jedovatý pre vodné organizmy, s dlhodobými účinkami.
H412	Škodlivý pre vodné organizmy, s dlhodobými účinkami.

H413	Môže spôsobiť dlhodobé škodlivé účinky pre vodné organizmy.
H300+H310	Pri požití alebo styku s kožou môže spôsobiť smrť.
H300+H310 +H330	Pri požití, pri styku s kožou alebo pri vdýchnutí môže spôsobiť smrť.
H300+H330	Pri požití alebo vdýchnutí môže spôsobiť smrť.
H301+H311	Toxický pri požití a pri styku s kožou.
H301+H311 +H331	Toxický pri požití, styku s kožou alebo pri vdýchnutí.
H301+H331	Toxický pri požití alebo vdýchnutí.
H302+H312	Zdraviu škodlivý pri požití alebo pri styku s kožou.
H302+H312 +H332	Zdraviu škodlivý pri požití, styku s kožou alebo pri vdýchnutí.
H302+H332	Zdraviu škodlivý pri požití alebo vdýchnutí.
H310+H330	Pri styku s kožou alebo pri vdýchnutí môže spôsobiť smrť.
H311+H331	Toxický pri styku s kožou alebo pri vdýchnutí.
H312+H332	Zdraviu škodlivý pri styku s kožou alebo pri vdýchnutí.
H420	Poškodzuje verejné zdravie a životné prostredie tým, že ničí ozón vo vrchných vrstvách atmosféry.

Doplnkové informácie o nebezpečnosti

EUH 001	Výbušný v suchom stave.
EUH 006	Výbušný za prístupu i bez prístupu vzduchu.
EUH 014	Prudko reaguje s vodou.
EUH 018	Pri použití môže vytvárať horľavé alebo výbušné zmesi pár so vzduchom.
EUH 019	Môže vytvárať výbušné peroxidy.
EUH 029	Uvoľňuje toxický plyn pri styku s vodou.
EUH 031	Uvoľňuje toxický plyn pri styku s kyselinami.
EUH 032	Uvoľňuje vysoko toxický plyn pri styku s kyselinami.
EUH 044	Nebezpečenstvo výbuchu pri zahrievaní v uzavretom obale.
EUH 059	Nebezpečný pre ozónovú vrstvu.
EUH 066	Opakovaná expozícia môže spôsobiť vysušenie alebo popraskanie kože.
EUH 070	Toxický pri styku s očami.
EUH 071	Spôsobuje poleptanie dýchacích ciest.
EUH 201	Obsahuje olovo. Nemá sa používať na povrchy, ktoré môžu žuť alebo olizovať deti.
EUH 201A	Pozor! Obsahuje olovo.
EUH 202	Kyanoakrylát. Nebezpečenstvo. Okamžite zlepuje kožu a oči. Uchovávajte mimo dosahu detí.
EUH 203	Obsahuje chróm (VI). Môže vyvolať alergickú reakciu.
EUH 204	Obsahuje izokyanáty. Môže vyvolať alergickú reakciu.
EUH 205	Obsahuje epoxidové zložky. Môže vyvolať alergickú reakciu.
EUH 206	Pozor! Nepoužívajte spolu s inými výrobkami. Môže uvoľňovať nebezpečné plyny (chlór).
EUH 207	Pozor! Obsahuje kadmium. Pri používaní vznikajú nebezpečné výpary. Pozri informácie dodané výrobcom. Dodržujte bezpečnostné pokyny.
EUH 208	Obsahuje (názov látky spôsobujúcej senzibilizáciu). Môže vyvolať alergickú reakciu.
EUH 209	Pri používaní sa môže stať vysoko horľavým.
EUH 209A	Pri používaní sa môže stať horľavým.
EUH 210	Na vyžiadanie je k dispozícii bezpečnostný list.
EUH 401	Dodržujte pokyny pre používanie, aby ste sa vyvarovali rizík pre ľudské zdravie a životné prostredie.

Príloha 2 Zoznam bezpečnostných opatrení na bezpečné zaobchádzanie s chemickými látkami a ich zmesami (P - vety), súčasť GHP

P101	Ak je potrebná lekárska pomoc, majte k dispozícii obal alebo etiketu výrobku.
P102	Uchovávajte mimo dosahu detí.
P103	Pred použitím si prečítajte etiketu.
chova	Pred použitím sa oboznámte s osobitnými pokynmi.
P202	Nepoužívajte, kým si neprečítate a nepochopíte všetky bezpečnostné opatrenia.
P210	Uchovávajte mimo dosahu tepla/iskier/otvoreného ohňa/horúcich povrchov. Nefajčite.
P211	Nestriekajte na otvorený oheň ani iný zdroj vznietenia.
P220	Uchovávajte/skladujte mimo odevov/.../horľavých materiálov.
P221	Prijmite opatrenia na zabránenie zmiešania s horľavými materiálmi...
P222	Zabráňte kontaktu so vzduchom.
P223	Zabráňte akémukoľvek kontaktu s vodou, aby nedošlo k prudkej reakcii a prípadnému zapáleniu.
P230	Uchovávajte zvlhčené...
P231	Manipulujte v prostredí s inertným plynom.
P232	Chráňte pred vlhkosťou.
P233	Nádobu uchovávajte tesne uzavretú.
P234	Uchovávajte iba v pôvodnej nádobe.
P235	Uchovávajte v chlade.
P240	Uzemnite/upevnite nádobu a plniace zariadenie.
P241	Používajte elektrické/ventilačné/osvetľovacie zariadenie do výbušného prostredia.
P242	Používajte iba neiskriace prístroje.
P243	Urobte preventívne opatrenia proti výbojom statickej elektriny.
P244	Redukčné ventily udržiavajte bez mazadiel a oleja.
P250	Nevystavujte brúseniu/nárazu/.../treniu.
P251	Nádoba je pod tlakom: neprepichujte alebo nespáľujte ju, a to ani po spotrebovaní obsahu.
P260	Nevdychujte prach/dym/plyn/hmlu/pary/aerosóly.
P261	Zabráňte vdychovaniu prachu/dymu/plynu/hmly/pár/aerosólov.
P262	Zabráňte kontaktu s očami, pokožkou alebo odevom.

P263	Zabráňte kontaktu počas tehotenstva a dojčenia.
P264	Po manipulácii starostlivo umyte....
P270	Pri používaní výrobku nejedzte, nepite ani nefajčite.
P271	Používajte iba na voľnom priestranstve alebo v dobre vetranom priestore.
P272	Je zakázané vyniesť kontaminovaný pracovný odev z pracoviska.
P273	Zabráňte uvoľneniu do životného prostredia.
P280	Noste ochranné rukavice/ochranný odev/ochranné okuliare/ochranu tváre.
P281	Používajte predpísané osobné ochranné prostriedky.
P282	Používajte termostabilné rukavice/ochranný štít/ochranné okuliare.
P283	Noste ohňovzdorný odev/odev so zníženou horľavosťou.
P284	Používajte ochranu dýchacích ciest.
P285	V prípade nedostatočného vetrania používajte ochranu dýchacích ciest.
P231+232	Manipulujte v prostredí s inertným plynom. Chráňte pred vlhkosťou.
P235+410	Uchovávajte v chlade. Chráňte pred slnečným žiarením.
P301	Po požití:
P302	Pri kontakte s pokožkou:
P303	Pri kontakte s pokožkou (alebo vlasmi):
P304	Po vdýchnutí:
P305	Po zasiahnutí očí:
P306	Pri kontakte s odevom:
P307	Po expozícii:
P308	Po expozícii alebo podozrení z nej:
P309	Po expozícii alebo pri zdravotných problémoch:
P310	Okamžite volajte NÁRODNÉ TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÉ CENTRUM alebo lekára.
P311	Volajte NÁRODNÉ TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÉ CENTRUM alebo lekára.
P312	Pri zdravotných problémoch volajte NÁRODNÉ TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÉ CENTRUM alebo lekára.
P313	Vyhľadajte lekársku pomoc/starostlivosť.
314	Pri zdravotných problémoch vyhľadajte lekársku pomoc/starostlivosť.
P315	Okamžite vyhľadajte lekársku pomoc/starostlivosť.
P320	Odborné ošetrovanie je naliehavé (pozri ...na etikete).

P321	Odborné ošetrovanie (pozri ... na etikete).
P322	Osobitné opatrenia (pozri ... na etikete).
P330	Vypláchnite ústa.
P331	Nevyvolávajte zvracanie.
P332	Ak sa prejaví podráždenie pokožky:
P333	Ak sa prejaví podráždenie pokožky alebo sa vytvoria vyrážky:
P334	Ponorte do studenej vody/obviažte mokrými obväzmi.
P335	Z pokožky oprášte sypké častice.
P336	Zmrznuté časti ošetríte vlažnou vodou. Postihnuté miesto netrite.
P337	Ak podráždenie očí pretrváva:
P338	Ak používate kontaktné šošovky a je to možné, odstráňte ich. Pokračujte vo vyplachovaní.
P340	Presuňte postihnutého na čerstvý vzduch a uložte do oddychovej polohy, ktorá bez pohybu umožní pohodlné dýchanie.
P341	Pri dýchacích ťažkostiach presuňte postihnutého na čerstvý vzduch a uložte do oddychovej polohy, ktorá bez pohybu umožní pohodlné dýchanie.
P342	Pri sťaženom dýchaní:
P350	Opatrne umyte veľkým množstvom vody a mydla.
P351	Opatrne niekoľko minút oplachujte vodou.
P352	Umyte veľkým množstvom vody a mydla.
P353	Pokožku opláchnite vodou/sprchou.
P360	Kontaminovaný odev a pokožku ihneď opláchnite veľkým množstvom vody a potom odev odstráňte.
P361	Ihneď odstráňte/vyzlečte všetky kontaminované časti odevu.
P362	Kontaminovaný odev vyzlečte a pred ďalším použitím vyperte.
P363	Kontaminovaný odev pred ďalším použitím vyperte.
P370	V prípade požiaru:
P371	V prípade veľkého požiaru a veľkého množstva:
P372	V prípade požiaru hrozí riziko výbuchu.
P373	Požiar NEHASTE, ak sa oheň priblížil k výbušninám
P374	Požiar haste z primeranej vzdialenosti pri dodržiavaní bežných bezpečnostných opatrení.
P375	Z dôvodu nebezpečenstva výbuchu požiar haste z diaľky.

P376	Zastavte únik, ak je to bezpečné.
P377	Požiar unikajúceho plynu: Nehaste, pokiaľ únik nemožno bezpečne zastaviť.
P378	Na hasenie použite
P380	Priestory evakuujte.
P381	Ak je to bezpečné, odstráňte všetky zdroje zapálenia.
P390	Absorbujte uniknutý produkt, aby sa zabránilo materiálnym škodám.
P391	Zozbierajte uniknutý produkt.
P301+310	Po požití: okamžite zavolajte NÁRODNÉ TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÉ CENTRUM alebo lekára.
P301+312	PO POŽITÍ: ak máte zdravotné problémy, okamžite volajte NÁRODNÉ TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÉ CENTRUM alebo lekára.
P301+330 +331	PO POŽITÍ: Vypláchnite ústa. Nevyvolávajte zvracanie.
P302+334	PRI KONTAKTE S POKOŽKOU: Ponorte do studenej vody/obviažte mokrými obväzmi.
P302+350	PRI KONTAKTE S POKOŽKOU: Opatrne umyte veľkým množstvom vody a mydla.
P302+352	PRI KONTAKTE S POKOŽKOU: Umyte veľkým množstvom vody a mydla.
P303+361 +353	PRI KONTAKTE S POKOŽKOU (alebo vlasmi): Odstráňte/vyzlečte všetky kontaminované časti odevu. Pokožku ihneď opláchnite vodou/sprchou.
P304+340	PO VDÝCHNUTÍ: Presuňte postihnutého na čerstvý vzduch a uložte do oddychovej polohy, ktorá bez pohybu umožní pohodlné dýchanie.
P304+341	PO VDÝCHNUTÍ: Pri dýchacích ťažkostiach presuňte postihnutého na čerstvý vzduch a uložte do oddychovej polohy, ktorá bez pohybu umožní pohodlné dýchanie.
P305+351 +338	PO ZASIAHNUTÍ OČÍ: Niekoľko minút ich opatrne vyplachujte vodou. Ak používate kontaktné šošovky a je to možné, odstráňte ich. Pokračujte vo vyplachovaní.
P306+360	PRI KONTAKTE S ODEVOM: kontaminovaný odev a pokožku opláchnite veľkým množstvom vody a potom odev odstráňte.
P307+310	PO expozícii: Okamžite volajte NÁRODNÉ TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÉ CENTRUM alebo lekára.

P307+311	PO expozícii: Volajte NÁRODNÉ TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÉ CENTRUM alebo lekára.
P308+313	PO expozícii alebo podozrení z nej: Vyhľadajte lekársku pomoc/starostlivosť.
P301+310	PO POŽITÍ: okamžite zavolajte NÁRODNÉ TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÉ CENTRUM alebo lekára.
P309+310	PO expozícii alebo pri zdravotných problémoch: Okamžite volajte NÁRODNÉ TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÉ CENTRUM alebo lekára.
P309+311	PO expozícii alebo zdravotných problémoch: Volajte NÁRODNÉ TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÉ CENTRUM alebo lekára.
P332+313	Ak sa objaví podráždenie pokožky: Vyhľadajte lekársku pomoc/starostlivosť.
P333+313	Ak sa objaví podráždenie pokožky alebo vyrážky: Vyhľadajte lekársku pomoc/starostlivosť.
P335+334	Z pokožky oprášte sypké čiastočky. Ponorte do studenej vody/obviažte mokrými obväzmi.
P337+313	Ak podráždenie očí pretrváva: Vyhľadajte lekársku pomoc/starostlivosť.
P342+311	Pri ťažkostiach s dýchaním: Volajte NÁRODNÉ TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÉ CENTRUM alebo lekára.
P370+376	V prípade požiaru: Ak je to bezpečné, zastavte únik.
P370+378	V prípade požiaru: Na hasenie použite
P370+380	V prípade požiaru: Priestory evakuujte.
P370+380 +375	V prípade požiaru: priestory evakuujte. Z dôvodu nebezpečenstva výbuchu požiar haste z diaľky.
P371+380 +375	V prípade veľkého požiaru a značného množstva: priestory evakuujte. Z dôvodu nebezpečenstva výbuchu požiar haste z diaľky.
P401	Uchovávajúte...
P402	Uchovávajúte na suchom mieste.
P403	Uchovávajúte na dobre vetranom mieste.
P404	Uchovávajúte v uzavretej nádobe.
P405	Uchovávajúte uzamknuté.
P406	Uchovávajúte v nádobe odolnej proti korózii/... nádobe s odolnou vnútornou vrstvou.
P407	Medzi regálmi/paletami ponechajte vzduchovú medzeru.
P410	Chránajte pred slnečným žiarením.

P411	Uchovávajte pri teplotách do ... °C/... °F.
P412	Nevystavujte teplotám nad 50 °C/122 °F.
P413	Veľké množstvo s hmotnosťou nad ... kg/... lbs uchovávajte pri teplote do ... °C/... °F.
P420	Uchovávajte oddelene od iných materiálov.
P422	Obsah uchovávajte v ...
P402+404	Uchovávajte na suchom mieste. Uchovávajte v uzavretej nádobe.
P403+233	Uchovávajte na dobre vetranom mieste. Nádobu uchovávajte tesne uzavretú.
P403+235	Uchovávajte na dobre vetranom mieste. Uchovávajte v chlade.
P410+403	Chráňte pred slnečným žiarením. Uchovávajte na dobre vetranom mieste.
P410+412	Chráňte pred slnečným žiarením. Nevystavujte teplotám nad 50 °C/122 °F.
P411+235	Uchovávajte pri teplotách do ... °C/... °F. Uchovávajte v chlade.
P501	Zneškodnite obsah/nádobu do...

Názov: **Základy zelenej organickej chémie pre učiteľské odbory: inovácie vo vzdelávaní**

Vysokoškolská učebnica

Autori: Simona Gallisová

Jana Jakubčinová

Melánia Feszterová

Veronika Demovics Silliková

Vydavateľ: Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre

Edícia: Prírodovedec č. 917

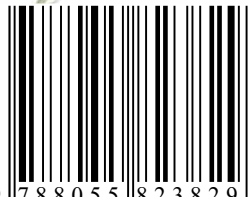
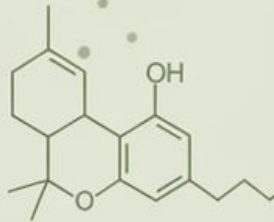
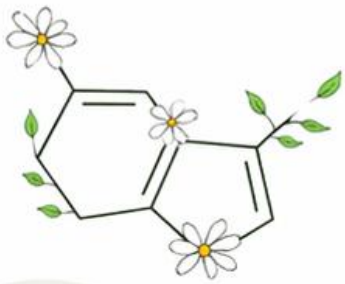
Formát: A4

Rok vydania: 2026

Miesto vydania: Nitra

Počet strán: 125

ISBN 978-80-558-2382-9



9 788055 823829