

# **Zelená chemie**

**Kateřina Kuchyňková, Jiří Šibor**

## **1. Úvod**

Jednou z možností, jak změnit veřejné mínění, nabízí tzv. **zelená chemie**. Zelená chemie je v podstatě použití chemie pro prevenci znečištění. Bývá někdy také označována jako chemie udržitelného vývoje. Přesněji ji můžeme definovat jako zavádění řady principů, které redukuje nebo eliminují použití či generování látek nebezpečných pro lidské zdraví i životní prostředí ve výzkumu, výrobě a aplikaci chemických produktů a procesů. Ačkoli použití některých těchto principů vypadá triviálně, je mnohem příznivější k životnímu prostředí a tím pádem v delších časových souvislostech také ekonomicky výhodnější.<sup>1</sup>

## **2. Počátky zelené chemie**

Se vznikem zelené chemie souvisí změna postoje k životnímu prostředí. Tato změna nastala roku 1987, kdy Světová komise pro životní prostředí a rozvoj při OSN pod vedením norské ministerské předsedkyně Gro Harlem Brundtlandové vydala zprávu nazvanou „Naše společná budoucnost“. V ní navrhla, aby problémy životního prostředí byly řešeny novým typem hospodářského rozvoje, tzv. trvale udržitelným rozvojem, který by byl současnou zárukou zachování života na Zemi. Jedná se o rozvoj, který zachová funkce přírody, neohroží zájmy jiného národa ani příštích generací. Takový rozvoj předpokládá přechod od antropocentrismu (potřeby člověka jsou nejdůležitější) ke vnímání světa prostřednictvím biocentrismu (středem pozornosti je život jako celek). To znamená zavádění technologií, jež jsou šetrné k přírodě, mají nižší nároky na materiál a energii a umožňují recyklaci surovin.<sup>1,2</sup>

První konkrétní kroky ke vzniku zelené chemie byly učiněny ve Spojených státech. Zelené chemii je věnována pasáž v „Dokumentu o prevenci znečištění“ z roku 1990. Tento dokument je prvním zákonem o životním prostředí, který zdůrazňuje prevenci před nápravou již existujícího znečištění. Na základě tohoto nového zákona je zřízena Agentura pro ochranu životního prostředí (Environmental Protection Agency – EPA), která vydává roku 1991 ve spolupráci s Kanceláří pro prevenci znečištění a jedů (Office of Pollution Prevention & Toxics) „Program zelené chemie“. Tento program navrhuje zajímavé strategie k ochraně lidského zdraví a k zachování zdravého životního prostředí.

Úkolem Agentury pro ochranu životního prostředí bylo spolupracovat s vědeckými,

vládními a průmyslovými organizacemi a za pomoci chemie najít nové technologie, které napomohou zamezit dalšímu znečištění. Začíná se rozvíjet výzkum a brzy se objevují první výsledky. Mezi jednotlivými organizacemi se vytvořilo partnerství a v roce 1993 je přijat program s oficiálním názvem U.S. Green Chemistry Program.

K tomuto programu se záhy přidávají odborníci z Velké Británie, Austrálie, Japonska, Itálie, Německa a dalších zemí. Roku 1996 se začínají udělovat první ocenění za výzkum v oblasti zelené chemie. Program zelené chemie je představován na chemických sympoziích, věnují se mu vzdělávací instituce a jsou vydávány první knihy a časopisy.<sup>1</sup>

Vedle udělování cen se velmi významnou událostí zelené chemie stalo vytvoření dvanácti základních principů zelené chemie. Jejich autory jsou Paul T. Anastas organický chemik, který působí v Bílém Domě a který jako vůbec první použil termín zelená chemie a profesor chemie na Massachusettské univerzitě v Bostonu John C. Warner.<sup>3</sup> Principy byly poprvé uveřejněny v časopise věnovaném zelené chemii – Green Chemistry: Theory and Practice. Navrhují plán pro zavádění zelené chemie.<sup>4</sup>

V roce 1997 je založena další organizace na podporu zelené chemie – Institut zelené chemie (Green Chemistry Institute). Jedná se o virtuální neziskovou organizaci, která se snaží zprostředkovat ekonomicky výhodné technologie, které se zároveň vyznačují čistou produkcí. V současné době má Institut spolupracovníky v 17 zemích. V loňském roce začal spolupracovat také s Americkou chemickou společností (American Chemical Society – ACS).<sup>1</sup>

### 3. Aktuální oblasti výzkumu

Poslední desetiletí jasně potvrdilo, že zelená chemie může být zásadně prospěšná při ochraně lidského zdraví a životního prostředí a to navíc ekonomicky výhodným způsobem. Významný pokrok byl učiněn v klíčových oblastech výzkumu – ve vyvíjení bezpečnějších chemikálií, především rozpouštědel a ve hledání nových energetických zdrojů nezávislých na fosilních palivech tzv. obnovitelných zdrojů energie. Chemikové se dále snaží pomoci při řešení globálních problémů lidstva, jakými jsou např. změna klimatu, zajištění bezpečného a adekvátního zásobování pitnou vodou, produkce potravin apod.

**Polymery** – slibnou oblastí zelené chemie je nacházení způsobu jak znovu obnovit paliva, či jak tyto nebezpečné látky snadno odstranit po jejich použití a to navíc užitečným způsobem. Např. využití polymerů vyrobených ze sóji a kukuřice jako balicího materiálu. Řešením je také polymer podléhající rozkladu – vzniká mikrobiálním kvašením z glukózy.

**Rozpouštědla** – navrhování rozpouštědel neškodlivých životnímu prostředí a systémů fungujících bez rozpouštědel je jednou z nejaktivnějších oblastí zelené chemie. Velmi používaná organická rozpouštědla jsou totiž těkavá, hořlavá, toxická, karcinogenní nebo znečišťují ovzduší. Průlomem je použití superkritických kapalin jako je oxid uhličitý. Jeho použití nabízí řadu výhod, největší je jeho kritická teplota a tlak (31,1 °C a 7400 kPa), které jsou mnohem přijatelnější než např. u vody. Oxid uhličitý není toxický, hořlavý, drahý a z výsledného produktu jej lze získat jednoduchým snížením tlaku.

Výzkumem se zjistilo, že ve velkém množství organických reakcí, které klasicky fungují při použití organických rozpouštědel, mohou být při použití katalyzátorů a vytvoření správných podmínek nahrazeny tyto organická rozpouštědla vodou. Relativně novou a atraktivní oblastí výzkumu jsou iontová rozpouštědla.

**Katalýza** – tato oblast bývá považována za základní kámen zelené chemie. Katalytické reakce snižují energetickou náročnost, zvyšují selektivnost, dovolují použití obnovitelných zdrojů energie a méně toxických reagentů a snižují množství reagentů potřebných pro chod reakce.

**Obnovitelné zdroje energie** – jejich hledání je velice důležité, neboť dochází k vyčerpání původních zdrojů ropy, ze které se získává více než 98 % všech organických chemikálií. K úplnému vyčerpání by dle prognóz mělo dojít kolem roku 2040. Možnou variantou jsou např. zemědělské odpady a zbytky, které mohou být přeměněny v užitečné chemikálie jako jsou alkoholy, ketony a karboxylové kyseliny. Sčránky krabů a jiných mořských živočichů nabízí chitin, který může být přeměněn na chitosan, polymer s širokým využitím.

**Navrhování bezpečnějších chemikálií** – je jednou z hlavních priorit zelené chemie. Např. pesticidy jsou navrhovány tak, aby byly mnohem selektivnější a méně trvalé než mnohé tradiční organické pesticidy. Povrchově aktivní látky a polymery jsou vyvíjeny tak, aby byly

odbouratelné ze životního prostředí. Nově vyvíjená barviva jsou bez těžkých kovů. Systematické rozvíjení a aplikace pravidel pro omezení nebezpečí je nejdůležitějším cílem zelené chemie.<sup>5</sup>

## **Vzdělávání**

Rozvíjení zelené chemie je možné pouze za předpokladu, že nastupující generace chemiků bude znát metody, techniky a principy zelené chemie. Za tímto účelem vědecké společnosti (Americká vědecká společnost, Královská společnost pro chemii apod.) ve spolupráci se vzdělávacími institucemi vytváří kolekci vzdělávacích programů a materiálů, která neustále narůstá – učebnice, případové studie, laboratorní experimenty, studentské organizace, letní školy, školení středoškolských učitelů, pomůcky, vzdělávací sympozia a profesionální semináře.<sup>6,7</sup>

### **4. 12 principů zelené chemie:**

#### **1) Prevence vzniku odpadu**

Je lepší se vyhnout odpadům, než s nimi pak nakládat a čistit je.

#### **2) Atomová ekonomie**

Syntetické metody by měly být navrhovány tak, aby sloučení všech použitých komponent ve finální produkt bylo maximální.

#### **3) Méně riskantní chemické syntézy**

Všude, kde je to proveditelné, by měly být navrženy a používány látky, které nejsou škodlivé (nebo jen nepatrně) pro člověka a životní prostředí.

#### **4) Navrhování bezpečnějších chemikálií**

Chemické produkty by měly být navrhovány tak, aby se zachovala jejich efektivnost, ale snížila toxicita.

#### **5) Bezpečnější rozpouštědla**

Pomocné látky, jako jsou např. rozpouštědla, by měly být používány pouze pokud je to nezbytné a měly by se používat především ty neškodlivé.

#### **6) Efektivní využití energie**

Měly by být stanoveny energetické požadavky vzhledem k jejich ekonomickému dopadu a dopadu na životní prostředí. Nové metody by se měly navrhovat tak, aby probíhaly při normálním tlaku a teplotě.

## **7) Použití obnovitelných zdrojů energie**

Vytvořit obnovitelné zdroje energie.

## **8) Omezení vzniku derivátů**

Snaha vyhnout se zbytečné přeměně chemické látky v balastní derivát, když je to možné.

## **9) Katalyzátory**

Katalytické reagenty jsou lepší než stechiometrické.

## **10) Navrhování odbouratelných látek**

Chemické produkty by měly být navrhovány tak, aby po jejich využití neškodily životnímu prostředí a změnily se v neškodné, odbouratelné látky.

## **11) Aktuální analytické metody pro zjištění znečištění**

Analytické metody musí být stále rozvíjeny, aby byly schopny monitorovat případné nové škodliviny.

## **12) Bezpečnější chemie – prevence nehod**

Látky používané v chemických procesech musí být zpracovávány tak, aby se minimalizovalo riziko potenciálních nehod, jakými jsou například exploze a požáry.<sup>8,9</sup>

### **4.1. Prevence vzniku odpadu**

#### **Druhy odpadu**

Odpadem rozumíme vše, co při výrobě nebo jiné lidské činnosti nebylo z původního zdroje využito a co ani po další úpravě (recyklaci) opětovně využito není. Část odpadů v plynné formě uniká do ovzduší, dostává se deštěm do vodních nádrží, toků, oceánů a také do půdy. Největší objem odpadů však představují látky pevné, mezi které patří odpady především z průmyslu, zemědělství, domácností a městských zařízení (komunální odpady). Jejich množství neustále narůstá.

Mnoho látek z odpadů by při jejich třídění mohlo být recyklováno a využito jako surovina pro další výrobu. Většina odpadů však končí na skládkách (v ČR 90 %) a zbytek je likvidován ve spalovnách. Souvisí to s tím, že organizace sběru a třídění odpadů je poměrně nedokonalá a investiční náročnost provozů využívajících tyto tzv. druhotné suroviny nebývá vždy dostatečně celospolečensky podpořena.

Nekontrolované a neřízené hromadění pevných odpadů a kalů v prostředí (černé skládky) neznamena pouze poškozování vzhledu krajiny, ale i nebezpečí pro přírodu. Nebezpečné jsou i neodpovědně založené a špatně kontrolované řízené skládky, do nichž se odkládají jedovaté (toxické) látky.

Ve spalovnách probíhá termické zneškodňování odpadů, které zahrnuje spalování, zplynování a zkapalňování. Odpad se ve spalovnách pálí za vysokých teplot, čímž se většina

sloučenin rozkládá na jednodušší molekuly a jednotlivé prvky. Moderní spalovny pracují s teplotou 800-900 °C. Spaliny se perou a čistí v několikastupňových filtrech. Pracuje-li moderní spalovna bez problémů a plynule, je spalování odpadu poněkud šetrnější záležitostí než skládkování. Spálením odpadu snížíme jeho objem zhruba na desetinu.<sup>10</sup>

Vedlejším efektem je využití energie z odpadů. Nový postup tepelného využití odpadů, který se vyznačuje vysokou hospodárností, nabízí tavení a zplyňování odpadu s dodáváním kyslíku. Základem tohoto postupu je technika kuplovny, známá ze slévárenského průmyslu. Na jejím základě byla vyvinuta šachtová pec, ve které se při teplotě kolem 2000 °C přeměňují odpady na čistý plyn využitelný k výrobě elektřiny a tepla. Technologie zaručuje dokonalý tepelný rozklad odpadů i škodlivých organických látek. Účinnost zařízení činí až 85 %. Postup je vhodný nejen pro komunální odpad, ale i pro lehké frakce z drcení automobilů, pneumatik apod. Důležitou součástí tvoří agregát, který zaručuje dokonalé zničení organických škodlivých látek. Rozmělněný odpad se dostává rovnou do zóny s vysokou teplotou a reaguje s kyslíkem, přidávaným tryskami. Velká část těkavých organických látek přitom vyhoří.<sup>11</sup>

Nezanedbatelnou a velmi problémovou složkou odpadu jsou odpadní vody. Vodní toky i nádrže (povrchovou vodu) znečišťují různé odpadní vody, průmyslové, komunální (z lidských sídel), látky vyplavené z polí i nečistoty z dopravy. Toxické látky (fenoly, sloučeniny těžkých kovů, ropné produkty atd.) ničí život ve vodě a narušují až znemožňují samočisticí procesy ve vodě, které spočívají zejména v rozkladu látek v potravních řetězcích.

Ke znečišťování moří a oceánů dochází jednak při námořní dopravě (zejména haváriemi ropných tankerů), jednak znečištěnými vodními toky. Nečistoty narušují základní ekologické vazby v mořských ekosystémech, snižují odolnost a zdravotní stav organismů, narušují výměnu kyslíku a oxidu uhličitého mezi vodou a ovzduším. Nedostatek čisté vody se stává omezujícím faktorem pro život lidí i pro rozvoj výroby.<sup>12</sup>

V čistírnách odpadních vod, se kterými se v dnešní době setkáváme téměř za každou vesnicí, vznikají jako odpadní produkty čistírenské kaly. Jedním z užitečných a racionálních způsobů nakládání s odpady, je následné energetické využití těchto kalů. Rozšířený způsob využití představuje vyhnívání. Produkty vyhnívání jsou bioplyn a částečně vyhnílý kal, který je možno použít jako hnojiva v zemědělství, i když vzhledem k tomu, že neobsahuje jen živiny, ale i těžké kovy, organické škodliviny jako např. zbytky léků apod., postupně se od tohoto využití ustupuje. Bioplyn se pak ve speciálních energetických jednotkách (zpravidla kombinace pístového spalovacího motoru a rotačního agregátu) přeměňuje v elektrickou energii.

Další energetické využití čistírenského kalu (bez fáze vyhnití) umožňuje přímé spalení. Před jeho provedením je nutno kal odvodnit. Spalování kalu umožní výrobu páry a tím výrobu elektrické případně tepelné energie. Spalování čistírenských kalů lze svým charakterem zařadit mezi využívání obnovitelných zdrojů energie, dochází k likvidaci nežádoucích látek neustále vznikajících vlivem člověka a zároveň k energetickému přínosu. Emise z provozu jsou minimální, hluboko pod emisními limity EU.<sup>11</sup>

Pevné nečistoty, které se dostávají do ovzduší (popílek, prach) i různé kapalné a plynné látky, především oxid siřičitý, oxidy dusíku, sloučeniny chloru a fluoru, oxid uhelnatý, sloučeniny různých těžkých kovů (olova, zinku, kadmia, rtuti atd.), celá řada uhlovodíků aj. jsou neopomenutelnou součástí problematiky odpadů. Látky, které se dostávají do ovzduší – emise – reagují s dalšími obsaženými v ovzduší a mění své složení i vlastnosti. Působí pak jako imise na organismy a na neživé prostředí přímo, nebo např. ve formě srážek (kyselé deště). Zvyšují kyselost půd a vod, způsobují odumírání až hynutí lesů, znehodnocování zemědělské produkce, vymírání života ve vodních nádržích, působí nepříznivě na lidské zdraví, jsou příčinou koroze různých materiálů. Zvláště nebezpečné situace vznikají při zhoršených podmínkách pro rozptylování škodlivých látek v ovzduší, nejčastěji při inverzi. Velké nebezpečí představuje stoupající množství oxidu uhličitého a dalších látek v horních vrstvách atmosféry. Důsledkem toho je skleníkový efekt.<sup>12</sup>

### **Třídění odpadu**

Je snazší a také lacinější omezovat množství vznikajícího odpadu než pak vzniklý odpad využívat a zneškodňovat. Vyloučit vznik odpadu se samozřejmě nepodaří nikdy, ale je možné jeho množství významně zmenšit. Značnou část odpadu je navíc možno využít jako druhotný zdroj surovin. Aby však bylo možné suroviny využívat, nesmí dojít k jejich znečištění smícháním v odpadu, proto je nutné jednotlivé složky odpadu třídít.

V první řadě je nutno zvážit, které obaly a který odpad lze dále použít. Různé sáčky, „igelitky“ atd. používáme opakovaně. Pokud máme zahrádku, separujeme zbytky ovoce a zeleniny jako **kompostovatelný odpad**. Kdo nemá zahrádku může zkusit drtič potravinového odpadu, namontovaný místo sifonu kuchyňského dřezu. Teprve ostatní odpad roztrídíme na odpad pro sběrný (pro výkup) a pro kontejnery, na odpad určený do popelnic a na nebezpečný odpad.

Častým artiklem v našem odpadu je **papír**. Papír se vykupuje ve sběrnách nebo sbírá do kontejnerů.

**Do sběru patří:** časopisy, noviny, papírové sáčky, lepenka, kartony, knihy (pokud neuspějeme v antikvariátu) bez vazby, počítačové papíry, sešity. Mimo smíšeného papíru se

vykupuje i papír tříděný – zvláště černobílé noviny a časopisy, barevné časopisy, tabulační (počítačový) papír.

**Do sběru nepatří:** papír mastný, znečištěný potravinami a lepidly, papír povoskovaný, pergamenový, omyvatelný a tvrzený, dehtovaný a asfaltovaný papír, pauzovací a kopírovací papír, hygienicky závadný papír, papír kombinovaný s kovovou či plastovou fólií (např. krabičky od nápojů, sáčky od polévek v prášku), vazby knih.

Stejně jako papír i **sklo** se nejčastěji sbírá do kontejnerů – zvláště bílé a barevné. Do kontejnerů by se však neměly dostat zbytky uzávěrů lahví a také zrcadla.

Významnou částí komunálního tuhého odpadu jsou **plasty**. V současnosti plasty tvoří asi 8 % hmotnosti a okolo 25 % objemu. Oddělením plastového odpadu se získává nejen významný zdroj druhotné suroviny, ale zároveň se značným způsobem prodlužuje i životnost skládek.

Podmínkou odběru plastů z komunálního separovaného odpadu je samozřejmě složení a čistota.

**Požadované složky plastového odpadu:** duté plastové předměty jako jsou lahve a kanystry od nápojů, pochutin, kosmetických přípravků, pracích, čistících a avivážních prostředků, přípravků bytové chemie apod., kelímky, vědra, nádoby a nejrůznější stolní a kuchyňské náčiní z plastů, plastové části hraček, domácích spotřebičů a nejrůznějších výrobků, dále části obalů a výrobky z pěnového polystyrenu, fóliové materiály jako jsou odnosné tašky, pytle, sáčky, obalové fólie apod. Nádoby od potravin, pochutin a různých přípravků by měly být zhruba omyté, aby nedocházelo k hnití zbytku obsahu. Vhodné je, když jsou zbaveny i papírových etiket.

**Nežádoucí složky plastového odpadu:** pěnové materiály (kromě pěnového polystyrenu) jako je molitan nebo pryž, trubky z PVC a všechny ostatní výrobky z tohoto materiálu, elektrické kabely a plastové díly s kovovými částicemi, výrobky z pryže, obaly „Tetrapack“ od nápojů a všechny ostatní neplastové předměty, plastové tapety a textilie všech druhů. Těchto materiálů a cizorodých látek jako např. kovy, sklo, stavební materiál, hadry, papír a podobně může dodaný vytríděný plastový odpad obsahovat nejvýše 8 % z celkové hmotnosti.

Trvalý zájem ve výkupnách je o **kovy**. Nejčastějším kovovým odpadem z domácnosti jsou plechovky a konzervy. Před odevzdáním bychom je měli zbavit zbytků potravin. Dalším kovovým odpadem z domácností jsou např. staré pračky, vařiče, sporáky apod. Neželezné kovy a jejich slitiny vykupuje mnoho výkopen barevných kovů. Z hliníku mohou být např. přístroje. Jen málo výkopen však bere nejčastější hliníkový odpad – hliníkové fólie (alobal –



obaly od másla, sýrů, apod.). Některé výkupny přijímají i celé elektromotory, dynama nebo startéry.

**Textil** vykupují jen některé výkupny, někde se sbírá do kontejnerů. Vykupovaný textil musí být suchý a čistý, zipy a knoflíky je nutno odstranit. Nevypouje se textil ohořelý, plesnivý, silně impregnovaný, z čistě syntetických materiálů (kromě punčoch, punčocháčů apod.), znečištěný od chemikálií, dále pláštěnky, koberce a koženky.

Další složkou komunálního odpadu je **nebezpečný odpad**, ten je nutno vždy odevzdat do sběrny, resp. do sběrného dvora. Patří sem zbytky barev, lepidel a ředidel, vyjetý olej, zářivky (nelze vyhazovat do kontejnerů se sklem!), televizory a mrazničky. Lze tu odevzdat i staré akumulátory a baterie (někdy je berou zpět i v prodejně). Staré a nepotřebné léky lze vrátit do lékárny.

Teprve to, co nebylo ve výše uvedeném výčtu uvedeno, je vhodné vyhodit do popelnice.

### **Odpady a chemie**

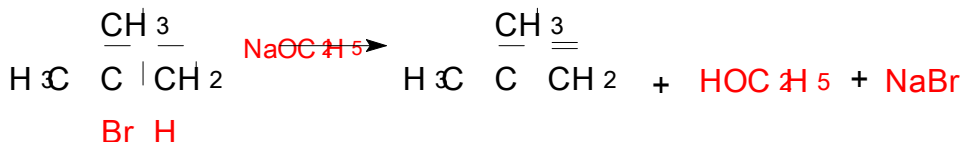
Odpady vznikající v chemické praxi jsou z velké části nebezpečnými látkami, jejichž likvidace je časově i finančně velice náročná. Proto se vzniku takového odpadu snažíme zabránit. Připravujeme si pouze odpovídající množství chemikálií, které skutečně pro daný proces potřebujeme. Se zamezením vzniku odpadů úzce souvisí i následující princip zelené chemie – atomová ekonomie. Inicuje ke tvorbě reakcí typu  $A + B \rightarrow C$ , které mají nahradit reakce, se kterými se většinou setkáváme tedy  $A + B \rightarrow C + D$ . Kdy „D“ představuje nežádoucí balastní produkt, tedy odpad.<sup>13</sup>

#### **4.2. Atomová ekonomie**

Při zavádění nových reakcí do praxe byla vždy brána v potaz především efektivita reakce. Tradičním způsobem jak zjistit efektivitu reakce je výpočet procentového výtěžku (porovnání hmotnosti skutečného výtěžku reakce s hmotností vypočítanou na základě molekulových hmotností produktu a reaktantů, násobeno stem).

V dnešní době se však do popředí dostává nejen to, kolik se toho vyprodukuje, ale také co se vyprodukuje. Chemikové se snaží vyvinout reakce, které umožňují vysoký výtěžek, ale zároveň musí co nejvíce splňovat podmínku zakotvení všech atomů reaktantů do žádoucího produktu, tzn. eliminovat vznik nežádoucích balastních produktů.<sup>13</sup> Tato snaha bývá označována dvěma obdobnými termíny – **atomová ekonomie** (tento termín poprvé použil Barry Trost ze Stanfordské univerzity) a **atomová užítost** (autorem označení je Roger Sheldon z univerzity Delft). Vysvětlení pojmů atomová ekonomie/užítost nejlépe umožňuje

konkrétní rovnice chemické reakce např. dehydrohalogenace 2,2-brommethylpropanu ethoxidem sodným za vzniku 2-methylpropenu (žádoucí produkt) a bromidu sodného a ethanolu (balastní produkty).



Všechny atomy reaktantu, které se nezužítují při vzniku 2-methylpropenu jsou označeny červeně, jsou to atomy, ze kterých vzniknou balastní produkty. Výpočet procentové atomové ekonomie – vydělíme molekulovou hmotnost žádoucího produktu molekulovou hmotností všech produktů vzniklých v reakci a násobíme stem. Vzhledem k tomu, že bývá často obtížné určit identitu všech výsledných produktů, termín procentová atomová ekonomie bývá někdy definován také jako molekulová hmotnost žádoucího produktu vydělená celkovou molekulovou hmotností všech reaktantů vstupujících do reakce  $\times 100$ .

Výpočet procentová atomová ekonomie uvedené reakce:

$$M_{(2\text{-methylpropen})} / M_{(2\text{-methylpropen} + \text{ethanol} + \text{bromid sodný})} \times 100 = 56 / (56 + 46 + 103) \times 100 = \underline{27 \%}$$

**Tato reakce nevyhovuje zásadám zelené chemie, neboť atomy byly zužitkovány pouze ze 27 %. V nežádoucí produkt se přeměnilo 73 % reagujících atomů.<sup>14</sup>**

### „Zelenější“ způsob přípravy Ibuprofenu

Léky proti bolesti (analgetika), mezi které Ibuprofen náleží spolu s např. Aspirinem, patří mezi nejběžněji užívané a velmi známé léky. Obchod s léky všeobecně zaznamenal výrazný vzestup, např. v USA obrat roku 1998 činil zhruba 125 bilionů dolarů (pro srovnání v roce 1985 byl obrat čtyřikrát menší).

Ibuprofen a Aspirin jsou součástí skupiny analgetik neobsahující steroidy, mají protizánětlivý účinek a jsou používány také k potlačení, resp. konzervaci otoků a zánětů.

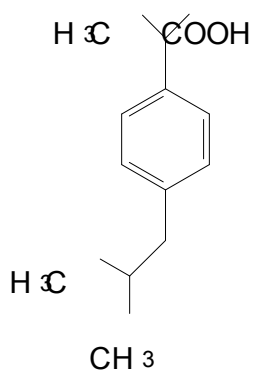
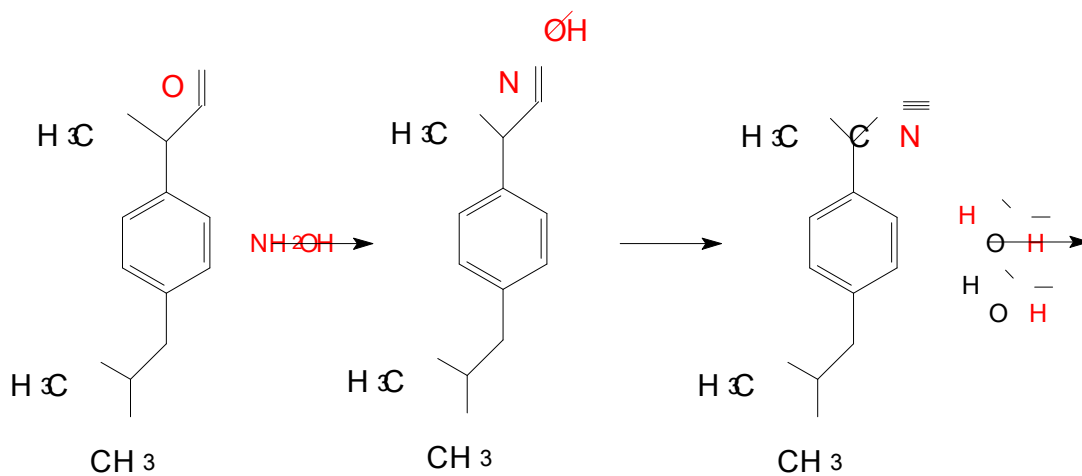
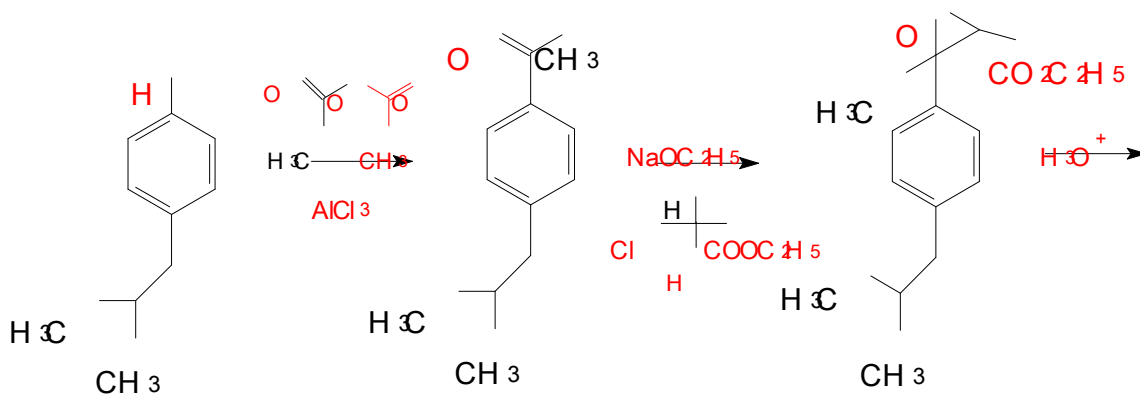
Tradiční průmyslová syntéza Ibuprofenu byla vyvinuta a patentována anglickou společností z Nottinghamu Boots Company PLC již v roce 1960. Tato syntéza probíhá v šesti krocích a jejím výsledkem je vedle žádaného Ibuprofenu také velké množství nežádoucího odpadu. Většina tohoto odpadu vzniká důsledkem toho, že velká část reaktantů („atomů“) se nepřemění v žádaný produkt (Ibuprofen), ale do nežádoucího vedlejšího produktu. Tato metoda je využívána v průmyslu po mnoho let. Díky ní se vyrobilo nejen mnoho milionů kilogramů Ibuprofenu, ale také mnoho milionů kilogramů nežádoucího a nerecyklovatelného chemického odpadu, který musel být složitě a nákladně likvidován.

Na základě spolupráce již zmiňované společnosti Boots Company a Celanese

Corporation vznikla společnost BHC. Účelem spolupráce bylo nalezení nového efektivnějšího způsobu výroby Ibuprofenu, který by zároveň plnil podmínky šetrného vztahu k životnímu prostředí. Roku 1991 byla vyvinuta nová „zelenější“ syntéza Ibuprofenu, která se skládá pouze ze tří kroků. V tomto procesu je většina atomů z reaktantu zabudována do žádoucího produktu a vzniká jen malé množství nežádoucích produktů vedlejších, což snižuje nároky na jejich likvidaci. Za tento přínos byla roku 1997 společnosti BHC udělena prestižní cena – *Presidential Green Chemistry Challenge Award*, o čtyři roky dříve, tedy roku 1993, získala také ocenění *Kirpatrick Chemical Engineering Achievement Award*. Toto ocenění uděluje každé dva roky odborný časopis *Chemical Engineering* vědeckým skupinám za vynikající výsledky nejen ve výzkumu, ale i za zavádění zjištěných poznatků výroby.

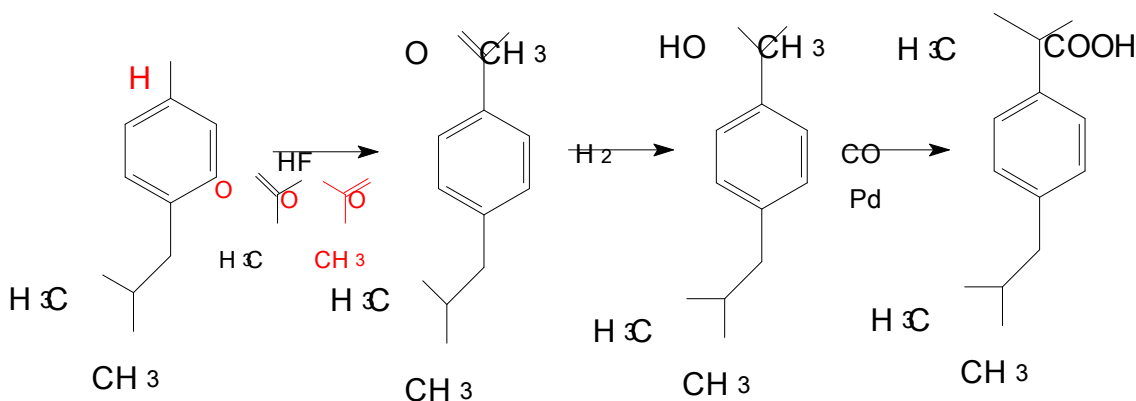
Nová syntéza Ibuprofenu byla zavedena do výroby 15. října 1992.

**Tradiční syntéza Ibuprofenu používaná již od roku 1960:**



IBUPROFEN

**Zelenější syntéza Ibuprofenu:**



## IBUPROFEN

Atomy reaktantů, ze kterých vzniknou balastní produkty jsou v obou schématech značeny červeně.

### Výpočet procentové atomové ekonomie u tradiční syntézy Ibuprofenu:

Reagent	Název	Molekulová hmotnost	Zakotveno v Ibuprofenu	Balastní produkty
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHCH}_2\text{C}_6\text{H}_5$	isobutylbenzen	134	133	1
$(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$	acetanhydrid	102	27	75
$\text{ClCH}_2\text{CHCOOHCH}_3$	4-chlorbutanová kyselina	122,5	13	109,5
$\text{NaOCH}_2\text{CH}_3$	ethoxid sodný	68	0	68
$\text{H}_3\text{O}^+$	oxoniový kation	19	0	19
$\text{NH}_2\text{OH}$	hydroxylamin	33	0	33
$\text{H}_2\text{O } 2\times$	voda	36	33	3
Celkem		514,5	206	308,5

Molekulová hmotnost Ibuprofenu = 206

**Procentová atomová ekonomie** = (molekulová hmotnost Ibuprofenu / molekulová hmotnost všech reaktantů)  $\times$  100 =  $(206 / 514,5) \times 100 = \underline{\underline{40\%}}$

### Výpočet procentové atomové ekonomie u „zelenější“ syntézy Ibuprofenu:

Reagent	Název	Molekulová hmotnost	Zakotveno v Ibuprofenu	Balastní produkty
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHCH}_2\text{C}_6\text{H}_5$	isobutylbenzen	134	133	1
$(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$	acetanhydrid	102	43	59
$\text{H}_2$	vodík	2	2	0
$\text{CO}$	oxid uhelnatý	28	28	0
Celkem		266	206	60

Molekulová hmotnost Ibuprofenu = 206

**Procentová atomová ekonomie** = (molekulová hmotnost Ibuprofenu / molekulová hmotnost všech reaktantů)  $\times 100 = (206 / 266) \times 100 = \underline{\underline{77\%}}$

Tyto výpočty dokazují, že „zelenější“ syntéza představuje zásadní zlom. Její atomová užitnost je vyšší o 37 %, což znamená nejen zabránění vzniku mnoha milionů kg zbytečného odpadu, ale také ušetření obrovského množství reagentů, které by bylo potřeba při výrobě klasickým způsobem.<sup>15</sup>

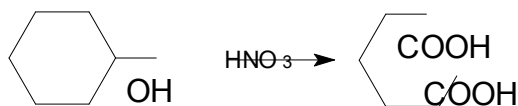
#### 4.3. Méně riskantní chemické syntézy

Dalším cílem zelené chemie je nalézání bezpečných chemických procesů a jejich zavádění do praxe. Látky nebezpečné pro člověka, jeho zdraví i životní prostředí by měly být nahrazeny neškodlivými či méně škodlivými (v případech, kde je to proveditelné). Postupy chemických procesů by měly být vhodně upraveny tak, aby byl dosažen stejný výsledek, ale byla minimalizována možná rizika s danou reakcí spojená. Jestliže změna v postupu není možná, je nutno alespoň striktně dodržovat bezpečnostní opatření a minimalizovat tak riziko možných nehod.

Příkladem uplatnění tohoto principu zelené chemie je nový způsob přípravy kyseliny adipové (hexandiové), který navrhli chemikové z Michiganské univerzity Karen M. Drathsová a John W. Frost.

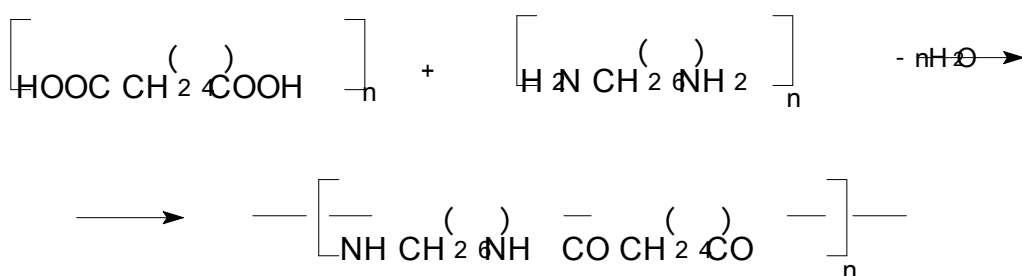
Kyselina adipová patří mezi nasycené vyšší dikarboxylové kyseliny a průmyslově se využívá k výrobě nylonu, polyurethanu, maziv a změkčovadel. V průmyslu se jí každoročně spotřebuje velké množství.

V laboratorních podmínkách se zejména připravuje oxidací cyklohexanolu kyselinou dusičnou:



V průmyslu je výchozí surovinou pro její výrobu benzen, který je velmi nebezpečnou, zdraví škodlivou a karcinogenní látkou.

Příprava Nylonu 6,6 z kyseliny adipové:



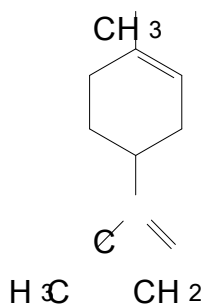
Nový bezpečnější způsob přípravy kyseliny adipové – bez rizik, které s sebou nese použití velmi silné kyseliny dusičné i karcinogenního benzenu – spočívá v její syntéze z glukózy. Glukóza není nebezpečná či zdraví škodlivá a navíc použití tohoto postupu splňuje i další princip zelené chemie – použití obnovitelných zdrojů – glukózu lze totiž téměř neomezeně získávat z přírody. Reakce probíhá za použití enzymu, který byl získán z geneticky upravené bakterie.<sup>16</sup>

#### 4.4. Navrhování bezpečnějších chemikálií

Bezpečnější chemikálie jsou zejména ty, které nám poskytují většinou nevyčerpatelné zdroje přírody. Použití přírodních zdrojů má další velkou výhodu a tou je jejich snadná odbouratelnost.

V ovocných džusech a nápojích, kořeních, parfémeh či čistících prostředcích – tedy ve výrobcích, které běžně používáme v domácnosti – jsou obsaženy esenciální oleje. Jsou získávány z rostlinných zdrojů a mnoho z těchto esenciálních olejů patří do skupiny terpenů. Mohou být cyklické, acyklické, nasycené či nenasycené.

Mezi monocyklické monoterpeny patří i limonen:

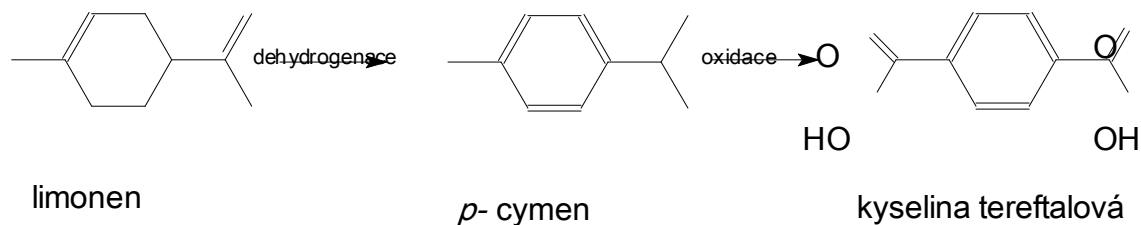


Limonen můžeme získat z kůry citrusů, je totiž hlavní složkou oleje z citrusové slupky (tvoří 90-95 %). Můžeme tedy říci, že s limonenem se již setkal každý z nás. Málokdo však tuší, jaký chemický zázrak v sobě citrusové plody skrývají. Limonen totiž dokáže v některých případech nahradit nebezpečná rozpouštědla i nezadržitelně ubývající ropné zdroje.

Limonen je po léta úspěšně využíván v potravinářském a kosmetickém průmyslu a je obecně považován za bezpečný. V nedávných letech byl limonen zkoušen v některých patologických laboratořích a byl použit jako náhrada za toxickou látku – xylenu.

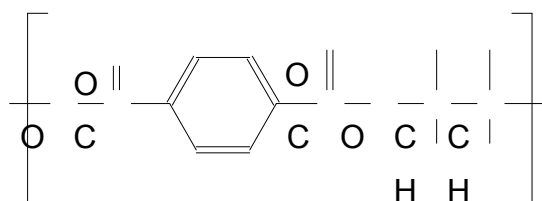
Během dalších zkoušek limonenu jako rozpouštědla místo xylenu, bylo zjištěno, že je nejen adekvátní náhradou, ale navíc je lehce absorbován, tráven a vyloučen lidským tělem. Limonen také snižuje riziko požáru, které s sebou nese použití xylenu.

Průmyslově se ročně vyrobí cca 50 000 tun limonenu. Z několika produktů, které z něj mohou být syntetizovány, je nejdůležitější *p*-cymen (isopropyltoluen). Získá se dehydrogenací limonenu. Používá se v parfumerii, farmaceutickém průmyslu (jako rozpouštědlo, pro přípravu polymerů). Oxidací *p*-cymenu (isopropyltoluenu) je možno získat kyselinu tereftalovou. V současnosti jsou výchozí surovinou pro výrobu kyseliny tereftalové ropné deriváty.



Kyselina tereftalová je základní surovinou při výrobě polyesteru. Nejprve se esterifikuje methanolem a vzniklý dimethyltereftalát se reesterifikuje ethylenglykolem za vzniku polyesteru.<sup>17</sup>





makromolekula polyesteru

#### 4.5. Bezpečnější rozpouštědla

Při vyvíjení nových i při modifikaci používaných chemických syntéz začíná být od poloviny dvacátého století kladen důraz na ekologický dopad chemické produkce. Organická rozpouštědla a reakční činidla nejběžněji používaná při těchto syntézách jsou totiž většinou problematická, zejména kvůli jejich toxicitě, hořlavosti či škodlivosti pro životní prostředí. Úkolem vědců je nalézt za tyto nebezpečné látky náhradu, což je zejména v některých případech velmi složité, neboť rozpouštědlo může hrát zásadní roli ve stabilizaci reakčních meziproduktů, má vliv na rychlost konkrétní reakce, izolování čistého produktu a recyklaci reagentů nebo katalyzátorů.

Zelená chemie prosazuje zásadu vyvíjení bezpečných syntetických metod, které nabízejí nejen k životnímu prostředí šetrné, ale navíc často i ekonomicky výhodnější procesy. Jedná se především o procesy fungující bez rozpouštědel, případně za použití rozpouštědel neohrožujících člověka ani životní prostředí, např. vodu.

Často diskutované alternativní reakční činidlo pro chemické syntézy je stlačený (v kapalném nebo superkritickém stavu) **oxid uhličitý** (CO<sub>2</sub>). Výzkumy probíhající od konce devadesátých let dvacátého století ukázaly, že oxid uhličitý v sobě skrývá ohromný potenciál a že může nahradit tradiční a potencionálně nebezpečná rozpouštědla v širokém okruhu procesů. Jednou z jeho mála nevýhod je, že musí být stlačen.

Snadno dosažitelné kritické hodnoty (kritický bod CO<sub>2</sub> odpovídá teplotě 31 °C a tlaku 7400 kPa), neškodlivé vlastnosti a nízké náklady související s jeho výrobou dělají z oxidu uhličitého atraktivní alternativu. Oxid uhličitý patří mezi tzv. skleníkové plyny. Nutno podotknout, že při aplikaci oxidu uhličitého jako rozpouštědla nedochází k nárůstu objemu skleníkových plynů, které vznikají antropogenní činností člověka.

Rozpouštěcí schopnost silně závisí na hustotě kapaliny, která může být nastavena změnami tlaku. Její jednoduché nastavení umožňuje právě stav kapaliny v blízkosti kritického bodu. Značně slibné pro chemické syntézy jsou také další rozpouštědla v kritickém stavu jako voda, fluorovodík a některé uhlovodíky.

Použití nehořlavého a nevýbušného superkritického oxidu uhličitého jako rozpouštědla

významně snižuje potencionální rizika, která s sebou nese použití jiných vysoce reaktivních reaktantů či plynů. Stlačené plyny jako vodík, oxid uhelnatý nebo kyslík jsou mnohem bezpečnější, použijí-li se v roztoku s CO<sub>2</sub>. Použitím oxidu uhličitého lze někdy dokonce dosáhnout lepších výsledků než při použití klasických rozpouštědel.<sup>18</sup>

Příklady využití superkritického CO<sub>2</sub> – oxidace alkoholů molekulárním kyslíkem v superkritickém oxidu uhličitém, např. oxidace benzylalkoholu na benzaldehyd. Reakce probíhá v přítomnosti katalyzátoru Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Použití oxidu uhličitého jako rozpouštědla a reaktantu zároveň (místo fosgenu nebo oxidu uhelnatého) je další příklad superkritického procesu. Byla popsána také katalytická tvorba karbonátů i formamidů. Již existuje technologie využívající superkritický oxid uhličitý v potravinářském průmyslu, velké možnosti nabízí jeho aplikace při extrakcích kofeinu nebo chmelu, které jsou založeny na průkopnické práci Kurta Zosela z Institutu Maxe Plancka. Další uplatnění tohoto jedinečného rozpouštědla se poslední dobou nachází při suchém čištění, odmašťování kovů, modifikaci polymerů a nejrozumnějších farmaceutických procesech.<sup>19</sup>

#### **4.6. Efektivní využití energie**

Vždy bychom měli pamatovat na to, že nejlevnější a pro životní prostředí nepřijatelnější energií, je energie ušetřená a měli bychom se tím řídit nejen v laboratoři, ale i doma.

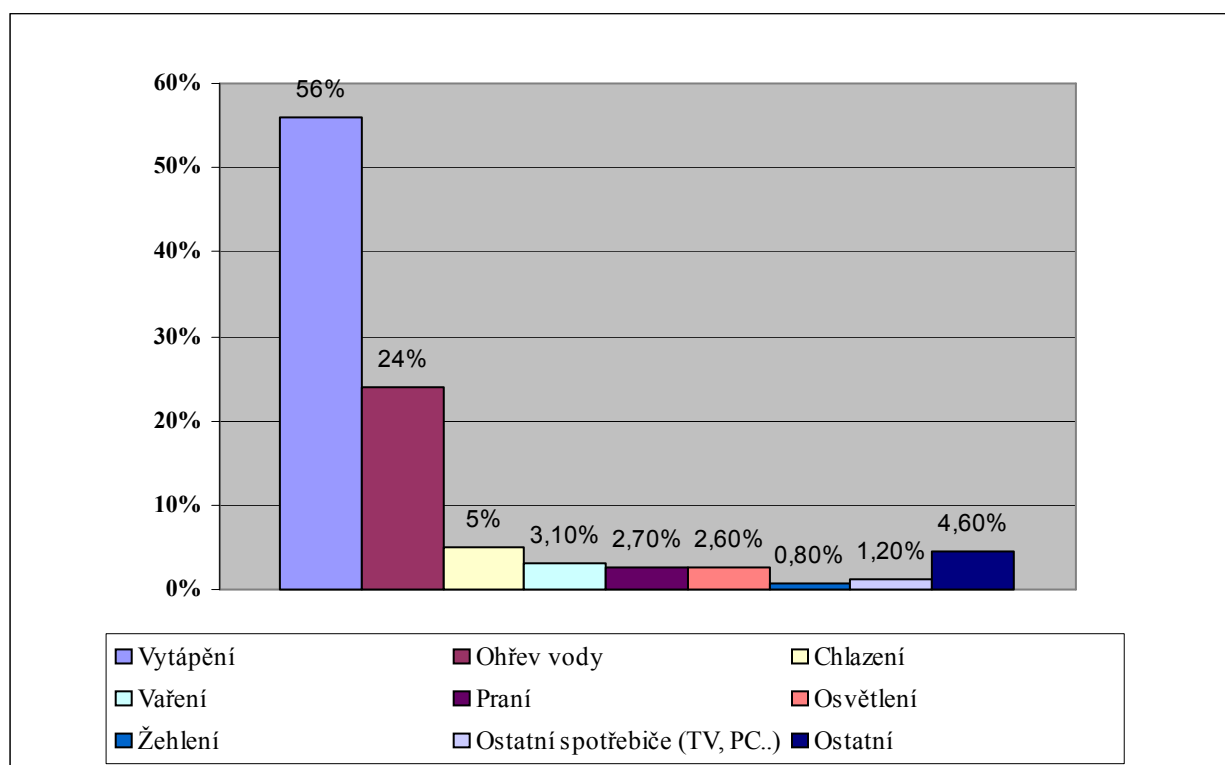
Odborníci dodržující zásady zelené chemie usilují o to, aby se snížila energetická náročnost nově zaváděných chemických procesů, proto se snaží je navrhovat tak, aby probíhaly při normálním tlaku a teplotě. Další energetickou úsporu může znamenat využití mikrovlnného záření. Používáme-li totiž klasické kachany, či elektrické ohřívače, spousta tepla uniká do okolního prostoru. Navíc použití mikrovlnného záření může výrazně urychlit průběh reakce (reakční čas je zredukován ze dnů a hodin na minuty a sekundy).<sup>20</sup>

K úsporám energie a tím i k ochraně životního prostředí se může rozhodnout každý z nás. Podíl domácností na spotřebě energie totiž rozhodně není zanedbatelný. Skoro nikdo si neumí představit svůj běžný život bez dodávek energie. K zajištění základních životních potřeb – vaření, provozu ledničky, topení, mytí, praní – potřebujeme energii různých druhů a případný výpadek dodávky znamená vždy velkou nepříjemnost. Využíváme ji ovšem také ve svém volném čase, od sledování televize po kutilskou práci v domácí dílně. Většina energie se vyrábí z fosilních paliv, což znamená exhalace skleníkových plynů, které způsobují globální změny podnebí. Na každého z nás každoročně připadají exhalace více než 12 tun CO<sub>2</sub> (tento údaj zahrnuje nejen přímý příspěvek domácnosti, ale také podíl průmyslu, energetiky a dalších hospodářských sektorů). Číslo se ještě zvýší, pokud do něj započítáme osobní

dopravu.<sup>21</sup>

Každý však může snadnými a levnými kroky doslova srazit svůj domácí příspěvek k exhalaci – tedy ke globálním změnám podnebí až o desítky procent. Skutečné řešení se neobejde bez účasti politiků a průmyslu: musí pomoci novými technologiemi, rozvojem veřejné dopravy a dalšími opatřeními. Přesto může každý z nás podstatně omezit znečištění už dnes, u sebe doma. Stačí přestat plýtvat energií a zvolit lepší, efektivnější zařízení. Řada takových technologií je snadno dostupná na trhu. Například šetrné, takzvané kompaktní zářivky ve srovnání s klasickými žárovkami vyrobí stejné množství světla při pětinasobně menší spotřebě elektřiny – takže sníží znečištění i účty za proud o 80 %. Podobná řešení pomohou omezit zbytečné plýtvání prakticky kdekoli: od topení v našem domě až po cestování na chatu.

### Rozložení spotřeby energie v průměrné české domácnosti:



Na základě výše uvedeného grafu je patrné, že energeticky nejnáročnější je vytápění, ohřev vody a kuchyňské spotřebiče. Zde lze také dosáhnout nejvýraznějších úspor.<sup>21</sup>

Žák základní školy k úsporám energií zřejmě příliš nepřispěje. Zodpovědnost za tuto oblast nesou především rodiče. Jsou však některá opatření, která může realizovat. Považuji za vhodné s nimi žáky seznámit ať již formou výkladu v hodině, nebo alespoň informačním plakátem na nástěnce. Úspora energie má možná místo spíše v zeměpise či občanské výchově než v chemii, domnívám se ale, že čím častěji se žák s touto problematikou bude setkávat, tím

je větší šance, že si nějakou zásadu zapamatuje a bude ji dodržovat v praktickém životě.

### **Zelené tipy pro úsporu energie:**

#### **Vytápění**

- Zbytečně nepřetápěj, dodržuj doporučené teploty – na spaní: 18 °C, při práci: 20 °C, pro učení, čtení, sledování TV: 22 °C.
- Teplotu v místnosti nesnižuj otevřením okna. Větrat je nutné, ale krátce a intenzivně.
- Odstraň překážky před radiátory, které brání proudění teplého vzduchu od radiátoru do místnosti a odrážejí jej do zdi (záclony, poličky...).
- Stahuj na noc rolety – udržují teplo v pokoji.

#### **Ohřev vody, vaření**

- Plnou vanu (spotřeba až 160 litrů teplé vody!!!) si dopřej občas, upřednostni sprchu, spotřebuješ pouze 40 litrů vody.
- Vodu na čaj, kávu a podobně nejlevněji a nejrychleji ohřeješ v rychlovarné konvici. Je vhodné ohřát vody co nejvíce a připravit např. čaj k snídani pro celou rodinu najednou. Pokud všichni nesnídají ve stejnou dobu, je možné čaj uchovat několik hodin v termosce.
- Pokud si potřebuješ ohřát jídlo, je energeticky i časově výhodné použít mikrovlnnou troubu. Ta je výhodná i v tom, že jídlo můžeš rovnou připravit na talíř.

#### **Elektrospotřebiče a svícení**

- Spotřebiče jako je např. televize, CD přehrávač či video odebírají v pohotovostním stavu dohromady 25 W. Předpokládejme, že každý ze spotřebičů běží v průměru dvě hodiny denně. Zbývajících čas jsou ponechány v pohotovostním režimu. V takovém případě zbytečně spotřebují 200 kWh za rok. Vypínej úplně tyto spotřebiče a ušetříš 224 kg emisí CO<sub>2</sub> ročně!!!
- Díky optimálnímu osvětlení a důslednému zhasínání v místech, kde světlo nepotřebuješ, dosáhneš úspory dalších 80 kWh za rok a ušetříš 90 kg CO<sub>2</sub>.

#### **Doprava**

- Kde můžeš, využij čistou dopravu – pěšky nebo na kole.
- Vždy dávej přednost veřejné dopravě před autem.<sup>22</sup>

### **4.7. Použití obnovitelných zdrojů energie**

Člověk a jeho vývoj je neuvěřitelně spjat s energetickou spotřebou. Pokud člověk využívá přirozené zdroje energie, které se vytváří po dobu jeho existence, vyvíjí se pozitivním směrem v souladu s přírodou. V současnosti však využíváme spíše tzv. klasické (primární)

zdroje energie, které jsou vyčerpatelné, neboť jejich zásoby jsou omezené např. fosilní paliva (černé a hnědé uhlí, ropa, zemní plyn) a atomová energie (uran). Tyto zdroje energie jsou mnohem koncentrovanější a umožňují nám se rozvíjet příliš rychle a nekontrolovatelně – neudržitelným směrem.<sup>23</sup>

Hospodářský rozvoj našeho státu byl po léta založen na těžbě a spalování uhlí, jehož zásoby u nás v přepočtu na jednoho obyvatele patřily k největším na světě. V době rozvoje těžby se dobývalo více než 10 tun uhlí ročně na každého obyvatele a jen postupně se uhlí zčásti nahrazuje dováženými kapalnými a plynnými palivy.

Bohužel uhlí i ropa jako surovina pro výrobu používaných kapalných a plynných paliv patří mezi paliva fosilní. Fosilní paliva byla vytvořena v přírodě před mnoha miliony let a jejich zdroje nejsou pochopitelně bezendné (dle prognóz při současných spotřebách budou zásoby vyčerpány kolem roku 2040).<sup>24</sup> Navíc jejich spalování tj. termické využití způsobuje, že se v ovzduší Země v posledních padesáti letech rychle zvyšuje podíl oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), který patří mezi skleníkové plyny (stejně jako např. methan CH<sub>4</sub>). Tyto plyny způsobují zvyšování průměrné teploty a tím změnu klimatu na Zemi. Většina států si toto nebezpečí uvědomuje a uzavírá dohody k omezování skleníkových plynů z fosilních paliv. Jedním z opatření kromě energetických úspor je náhrada těchto zdrojů obnovitelnými. Mezi obnovitelné zdroje řadíme ty, které jsou v podstatě nevyčerpatelné např. energie slunce, země, vody, větru, biomasa apod.

## **Slunce**

Téměř všechna energie na Zemi pochází z nitra Slunce. Za teplot mnoha milionů stupňů zde jaderná síla uvolňuje klidovou energii hmoty tak, že přeměňuje vodík v helium. Vzniklou energii označujeme jako sluneční zářivost a Slunce ji vyzařuje do kosmického prostoru. Na Zem dopadá její nepatrný zlomek, který však představuje nesmírný příval energie (čtrnáctisíckrát více energie než potřebuje lidstvo).

Jaderná energie ze středové oblasti Slunce se ve formě záření dostává k viditelnému povrchu a odtud jako záření na povrch Země. Tam se energie mění v teplo, chemickou a mechanickou energii. Tyto proměny probíhají v přírodě – nebo je člověk řídí účelně, aby mu tyto druhy energie sloužily.

Přibližně polovina slunečního záření je pohlcována povrchem Země a z jedné pětiny v atmosféře. Pohlcována znamená přeměněna v teplo – tj. v pohyb molekul. Díky této přeměně je na Zemi průměrná teplota kolem 15 °C a pro život příjemné prostředí. Bez slunečního záření by teplota Země byla pouze -263 °C (k této teplotě přispívá také radioaktivní rozpad některých prvků, tzv. geotermální teplo, bez něj by byla na Zemi teplota

pouze  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Povrch Země pohlcuje sluneční záření – foton rozkmitá molekulu, na kterou dopadl. Rychlejší pohyb molekuly znamená větší pohybovou energii, tj. teplo. Foton předal molekule svoji energii, kterou přinesl od Slunce. Takových přeměn slunečního záření na teplo probíhá každou sekundu nesmírně mnoho (na ozářené plošce zemského povrchu velké jako náš nehet se pohltní za sekundu trilion slunečních fotonů).

Přirozeným sběračem (kolektorem) sluneční energie jsou hladiny oceánů. Povrchové vody oceánů pohlcují sluneční záření a zahřívají se. Jejich teplota při povrchu je  $25\text{--}28\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Avšak v hloubkách kolem 400 m pod povrchem je pouze  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sluneční energie je uskladněna do vody nejen jako teplo, ale i jako pohybová energie. Pohání mořské proudy, řeky a koloběh vody.

Sluneční energie je také uchovávána v atmosféře a to dvojím způsobem: jednak ve formě tepla, jednak jako pohybová energie větru. Čím rychleji vítr fouká, tím větší energii s sebou nese.

Všechno živé na povrchu Země a ve vodě souhrnně označujeme jako biosféru. Nezbytnou energii dostává biosféra opět od Slunce. Vstupní branou sluneční energie do biosféry je fotosyntéza zelených rostlin na pevninách a fytoplanktonu v mořích. Fotosyntéza ukládá sluneční záření do oxidu uhličitého a vody tak, že z nich dělá cukry, škroby a jiné organické látky. Od zelených rostlin a fytoplanktonu přejímají tuto energii (ve formě potravy) všichni živí tvorové na Zemi. Chemickou energii přijaté potravy pak uvolňují dýcháním. Zatímco fotosyntéza uskládá sluneční energii do potravy, dýchání a spalování tuto uskladněnou energii z potravy uvolňuje.<sup>25</sup>

### **Odklon od Slunce – průmyslová revoluce**

V 19. století dochází k odklonu od přirozeného vývoje. Lidé začali využívat koncentrované energie v podobě uhlí, ropy a zemního plynu, které dokázali díky převratným vynálezům – parnímu stroji a spalovacímu motoru přeměnit na ušlechtilější formy energie. Vedle tepla jsme dokázali generovat silnou mechanickou energii a energii nejušlechtilější – elektrickou, což nám přineslo obrovský rozvoj. Lidská práce a současná energie sluneční ve všech svých podobách nedokázaly konkurovat, větrné a vodní mlýny byly vyřazovány z provozu a hlavně se přestaly vyvíjet, i když byly před tím využívány s úspěchem tisíce let.

Moderní vyspělá civilizace začala budovat své vlastní zákony ekonomiky a hospodářského růstu, které se neslučují se zákony přírodními. Tento fenomén doby nám umožnil pracovat efektivněji a rychleji, lidská a zvířecí práce byla nekonkurenceschopná. Začali jsme se přemisťovat mnohem rychleji, vytvořili jsme sítě – ropovody, plynovody, dopravní a elektrifikační sítě. Vývoj a systém nás pohltil a vytvořil v nás samotných

obrovskou závislost na této koncentrované energii a její dostupnosti.

Ve druhé polovině 20. století se začaly projevovat první důsledky tohoto dvoustletého vývoje a odklonu od sluneční energie. Studená válka, ropná krize a první obavy z vyčerpatelnosti fosilních zdrojů jsou symbolem doby. Plnohodnotným platidlem novodobé historie naší civilizace se stala ropa, snadno dostupné, transportovatelné a využitelné fosilní palivo.<sup>23</sup>

### **Obnovitelné zdroje:**

- **Využití větru**

Přeměna energie z větru v energii elektrickou se děje prostřednictvím větrných turbín (viz. obrazová příloha obr. č. 1), jejichž vývojem se zabývají odborníci již třicet let. V posledních pěti letech význam spojený s využitím větrné energie výrazně stoupl jak na evropském tak americkém kontinentu. I nadále je však využívána pouze necelá desetina procenta potenciálu světové větrné energie. Přestože jsou větrné elektrárny nevyčerpatelným zdrojem energie bez zplodin, naráží jejich stavba na řadu problémů. Jednak je to finanční náročnost zařízení a také odpor místních obyvatel. Námitky jsou směřovány převážně na vizuální dopad na krajinu a na hlučnost vznikající při provozu větrné turbíny.<sup>26</sup>

Větrné elektrárny jsou situovány v místech se stabilním prouděním – na místech některých horských průsmyků, zejména však na mořském pobřeží. Hlavní podmínkou možného využití větrné energie je stálost a rychlost větru v dané lokalitě, která by neměla být nižší než  $5 \text{ m.s}^{-1}$ . U nás tyto podmínky většinou splňuje nadmořská výška nad 600 m n. m, tím je potenciál větru omezen na několik oblastí, nicméně i tak představuje celkový potenciál 10 – 20 % celkové současné energetické spotřeby.<sup>27</sup>

- **Využití slunce**

Na území České republiky lze velmi dobře využít energii slunečního záření. Celková doba slunečního svitu (bez oblačnosti) je od 1 400 do 1 700 hodin za rok. Na plochu jednoho čtverečního metru dopadne ročně průměrně 1 100 kWh energie. Z těchto čísel je vidět, že při dobré účinnosti solárního systému lze získat z poměrně malé plochy poměrně velký výkon. Je několik možností, jak přeměnit energii slunečního záření na jinou, pro nás použitelnou formu. Nejlepších výsledků se obvykle dosáhne kombinací jednotlivých systémů.

#### **Solární elektrárny**

Toto zařízení je v principu vysokovýkonovým solárním kolektorem, který vyrábí v trubkách ležících v ohniscích velkých parabolických zrcadlech a nebo speciálních čoček páru, ta pohání turbínu, která otáčí generátorem a vyrábí elektrickou energii. Elektrárny tohoto typu lze stavět v místech s vysokou intenzitou a dlouhou dobou slunečního svitu. V

elektrárnách s větším výkonem (80 MW) produkují proud levněji než v atomové elektrárně. Největší solární elektrárna je v Mohavské poušti u města Barstow v Kalifornii, v oblasti se 300 slunnými dny ročně. V Evropě je největší solární elektrárna ve Francii u města Themis v západních Pyrenejích, která byla dostavěna v roce 1981. V České republice není příhodná intenzita pro větší zařízení tohoto typu, lze je ale stavět v jižních oblastech Evropské unie nebo v severní Africe.<sup>28</sup>

### **Solární kolektory**

Pomocí jednoduchého zařízení – solárního kolektoru – je možno získávat bez další dodávky paliv z fosilních či atomových zdrojů teplou vodu (viz. obrazová příloha obr. č. 4). Při běžné instalaci na střeše bez větší dlouhodobé akumulace umožňují solární kolektory získat ze slunečního svitu až 75 % celoroční spotřeby teplé užitkové vody a až 45 % roční spotřeby teplé vody pro vytápění. Základní podmínkou dobrého využití slunečního záření je správná volba umístění kolektoru – jihozápad, celodenní osvit kolektoru a jeho sklon 45°. Účinnost využití tepla získaného ze sluneční energie se zvyšuje co nejkratšími rozvody mezi kolektorem a místem spotřeby, jejich dobrou tepelnou izolací a chráněním kolektoru proti větru (ochlazování).<sup>29</sup>

### **Fotovoltaické články**

Dnes jsou fotovoltaické články nejrozšířenější způsob, jak získat elektřinu přímo ze Slunce. Původně byly vyvinuty pro kosmické družice. Dnes napájí i levné kapesní kalkulačky. Experimentálně se užívají i pro zásobování rodinných domků elektřinou, zejména v Rakousku a Švýcarsku. Také již pracuje několik "fotovoltaických" elektráren, zásobujících veřejnou síť.

Fotovoltaické články se uplatní především tam, kde není k dispozici elektřina ze sítě (horské chaty, samoty, lodě atd.). Solární články pracují na principu, který objevil německý fyzik Heinrich Hertz (1857-1894). V roce 1887 si povšiml, že některé sloučeniny po vystavení světlu produkují elektřinu – jev byl pojmenován jako fotoelektrický.<sup>30</sup>

- **Tepelná čerpadla**

Odebírají teplo z půdy, vody či vzduchu, případně odpadní teplo průmyslových technologií a využívají je k vytápění, klimatizaci a přípravě teplé vody (viz. obrazová příloha obr. č. 5). Princip tepelných čerpadel je stejný jako u chladicího zařízení – chladničky. Chladnička odebírá teplo ze svého vnitřního prostoru a předává jej výparníkem do okolí, tepelné čerpadlo odebírá teplo z půdy, vody či vzduchu a toto předává pro vytápění, přípravu teplé vody, ohřev bazénů apod. Zdrojem tepla může být okolní vzduch, technologické teplo, podzemní či povrchová voda, odpadní voda nebo půda (vrty, zemní kolektory).<sup>31</sup> Některá



tepelná čerpadla mohou pracovat ve dvojím režimu – topícím a chladícím, proto se používají i ve větracích a klimatizačních jednotkách pro ohřev, ochlazování nebo rekuperaci větracího vzduchu. Vzhledem k nerovnoměrné spotřebě v průběhu roku je vhodné tepelné čerpadlo provozovat s akumulátorem (zásobníkem) tepla a s doplňkovým zdrojem tepla – například elektrokotlem.<sup>32</sup>

- **Využití vody**

Energie vody je historicky nejstarším využívaným zdrojem energie. Voda je nositelem mechanické, tepelné a chemické energie. Pro výrobu elektrické energie má v současnosti z technického hlediska největší význam mechanická energie vody. V České republice jsou možnosti využití energie vody vzhledem k přírodním podmínkám dosti omezené, v provozu je asi 550 malých vodních elektráren (v roce 1930 jich bylo dvakrát víc).

Vodní elektrárny neboli hydroelektrárny jsou elektrárny, které k výrobě elektrické energie využívají pohybové energie průtokové nebo spádové vody. Proudící voda otáčí oběžné kolo turbíny (viz obrazová příloha obr. č. 3) a tím i rotor alternátoru na výrobu střídavého proudu. Alternátor poháněný vodní turbínou se nazývá hydrogenerátor. V elektrárnách se používá zejména tři druhů turbín (viz. obrazová příloha obr. č. 2):

- a) **Kaplanova turbína**, kterou zkonstruoval český vědec Viktor Kaplan, má oběžné kolo tvaru vrtule, jejíž lopatky se dají natáčet, a používá se pro malé, střední i větší spády vody.
- b) **Francisova turbína** se používá pro střední a větší spády.
- c) **Peltonova turbína** se používá zejména pro velké spády a její oběžné kolo tvoří soustava lžícových lopatek.<sup>33</sup>

Vodní elektrárny dělíme na elektrárny průtočné, akumulační a přečerpávací:

- 1) **průtočné elektrárny** - budují se v rovinných oblastech, kde lze vodní tok přehradit jen nízkými jezy a z hlediska množství vyráběné energie mají jen místní význam.
- 2) **akumulační elektrárny** - pro nás nejdůležitější. K pohonu turbín využívají vody nahromaděné v rybnících, jezerech a především v umělých vodních nádržích vytvořených údolními přehradami. Nejmhutnější vodní nádrže s velkými elektrárnami jsou v ČR budovány zejména v povodí Vltavy (přehrady – Slapy, Orlík, Lipno a jiné). První elektrárnou v povodí Vltavy byla Vranská přehrada, dobudovaná v roce 1936 jižně od Prahy. Přehrada Orlík má hráz vysokou 92 metrů a její čtyři desetilopátkové turbíny mají výkon 400 MW.
- 3) **přečerpávací elektrárny** - elektrická energie roztáčí rotor alternátoru, alternátor pohání čerpadlo, čerpadlo přečerpává vodu do výše položené nádrže, v době zvýšené spotřeby

elektrické energie se z naplněné nádrže vypouští voda zpět na turbínu, turbína pohání alternátor a alternátor vyrábí znovu elektrickou energii. Spotřeba elektrické energie kolísá, v pracovní době je spotřeba vyšší, v noční době naopak nižší. Elektrickou energii nelze hromadit, ani nemůžeme vytvářet její zásoby. A právě této přebytečné elektrické energie využíváme k přečerpávání vody do nádrží. V době zvýšené spotřeby naopak využíváme nahromaděné potenciální energie vody k výrobě elektrické energie. Přečerpávací elektrárna je např. ve Štěchovicích u Prahy, kde přečerpávací nádrž tvoří uměle vybudovaná nádrž v kopci nad elektrárnou, v Hojsově Stráži, kde se přečerpává voda do známého Černého jezera na Šumavě. Na Moravě jsou to např. přečerpávací elektrárna v Dalešicích u Brna, jež je známa svou mohutností a Dlouhé stráně v Jeseníkách.<sup>34</sup>

### **Mořské vlny**

Neustálé vlny na všech mořích světa jsou jedním z největších potenciálů obnovitelné energie Slunce. Jejich využívání je zatím ve fázi výzkumu a pilotních projektů, lze však počítat s tím, že využitelnost poroste. Existuje několik typů zařízení – jedno je stabilně spojeno se dnem nebo pobřežím a využívá příboj, další jsou ukotvena v hlubší vodě a volně se pohybují na vlnách.<sup>35</sup>

### **Příliv**

Energie přílivu je vlastně energií Měsíce a nikoliv Slunce, ale také se jedná o obnovitelnou energii. Většinou se využívají na místech s vysokým přílivem – nad 10 metrů, tak, že se přehradí vhodně položený záliv. Využívání energie přílivu může přinést určité problémy, známé jsou obtíže se zanášením zařízení a se zasolování půdy a proto nelze tento způsob získávání energie považovat za bezproblémový obnovitelný zdroj.<sup>36</sup>

### **Energie mořských proudů**

Ani tato možnost nezůstává bez povšimnutí. Všimněme si nejmohutnějšího mořského proudu, jímž je Golfský proud. Část tohoto proudu, který protéká mezi Floridou a Bahamskými ostrovy, má šířku 60 km, hloubku 800 m a rychlost  $0,9 \text{ m.s}^{-1}$ .

### **OTEC – *Ocean Thermal Energy Conversion***

Je metoda využívající rozdílnou teplotu povrchové a hlubinné vrstvy mořské vody a pomocí uzavřeného oběhu nízkovroucího média nebo otevřeného okruhu vody, či jejich kombinace může vyrábět jak elektrický proud, tak čistou vodu. U Havajských ostrovů je instalováno experimentální zařízení, které pracuje mezi teplotami  $30^\circ\text{C}$  na povrchu a  $7^\circ\text{C}$  v hloubce 58 metrů a má výkon 35 kW. Z globálního hlediska představuje systém **OTEC** značný potenciál, i když nelze vyloučit určité lokální problémy při teplotním promíchávání

dvou v podstatně nemísitelných vrstev mořské vody.<sup>37</sup>

- **Využití termálních pramenů**

Jaderné reakce, vyvolané rozpadem radioaktivních prvků nepřetržitě zahřívají jádro Země na cca 4000 °C. S klesající vzdáleností od zemského jádra se teplota snižuje, na dně hlubinných dolů je tedy větší teplo, než v jejich horních patrech. Na některých místech pod zemským povrchem jsou horniny sálající teplo a díky nim se tvoří horké prameny a gejzíry, nebo páry unikající ze země, které se využívají pro výrobu elektřiny.

První geotermální elektrárna byla vybudována v roce 1904 u města Larderello v severní Itálii, kde ze země unikala při teplotách 140-260 °C pára. Ta se odvedla a použila pro pohon elektrických generátorů. Další geotermální elektrárny najdeme na Novém Zélandu, Filipínách, v Kalifornii a v Mexiku, na místech s přírodním unikem zemského tepla. Využití zdroje geotermální energie začíná tím, že se vyhloubí dva vrty, do kterých se čerpá voda. Ta prvním vrtem proudí do skály, protéká jejími štěrbinami a druhým vrtem se vrací zpět na zemský povrch. Uvnitř skály se voda zahřívá až na 200 °C. Přechem do atmosférického tlaku se voda přemění na páru a pohání turbíny.<sup>29</sup>

- **Využití biomasy**

Biomasa je organická hmota rostlinného nebo živočišného původu (dřevo, sláma, exkrementy užitkových zvířat, průmyslové a komunální odpady apod.). Získává se buď jako výsledek konkrétní výrobní činnosti (dřevozpracující průmysl, pěstování zemědělských plodin) nebo jako odpad ze zemědělství, průmyslové a komunální činnosti.<sup>38</sup>

### **Fytomasa**

Biomasa je souhrnný pojem pro organické látky rostlinného i živočišného původu. Látky rostlinného původu úžeji označujeme jako fytomasu. Veškeré organické látky rostlinného původu vznikají v přírodě v průběhu fotosyntézy, tj. při zachycování části, na Zemi dopadající, sluneční energie a následné tvorbě organických sloučenin představovaných zejména glukózou ze vzdušného oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) a z půdy získané vody (H<sub>2</sub>O) a určitého množství anorganických živin jako je draslík (K), vápník (Ca), fosfor (P), dusík a dalších stopových prvků.

Praktickým výsledkem fotosyntézy je jednak vytvoření organické hmoty, jednak uvolňování vznikajícího kyslíku do ovzduší, což umožňuje život všem živočichům na něm závislým.

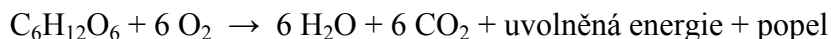
Zjednodušený průběh fotosyntézy:



C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> představuje vzorec glukózy, ve skutečnosti se organická hmota skládá z různých

cukrů, do kterých glukóza patří. Dále z olejů, celulózy, škrobu, bílkovin a dalších složek.

Opačný proces, tedy spalování nebo tlení probíhá zjednodušeně takto:



Uvolněnou energii je možno využít jako teplo pro nejrůznější účely včetně výroby elektrického proudu.

Fytomasa je alternativní zdroj při výrobě tepla a ohřevu vody v rodinných domcích, bytech, v průmyslu i v zemědělství. Poskytuje surovinu pro prakticky všechny formy paliv jako paliva fosilní, vždyť i fosilní paliva jsou vlastně organického původu jen s tím rozdílem, že byla uložena mnoho milionů let v zemské kůře a podrobena působení značným tlakům a teplotám, které je pozměnily. Snížil se v nich obsah kyslíku, ztratily část plynných látek a zvýšila se jejich hustota. Současné rostliny mohou být po různých úpravách, z nichž hlavní je sušení, využity jako pevné (biobrikety a biopelety – slisovaná sláma, či dřevěné piliny), kapalné (bionafta) a plynné (bioplyn) zdroje. Bioplyn a bionaftu lze následně využít k výrobě elektrické energie a tepla v kogeneračních jednotkách. Účinnost využití fytomasy je závislá na její kvalitě – obsahu vody, organických látek apod. Dále pak na technické úrovni používaného technologického zařízení jak při získávání tak při spalování.<sup>39</sup>

Obnovitelné zdroje energie se v současné době podílejí na celkové světové výrobě elektřiny přibližně 7 %, přičemž největší podíl připadá na hydroelektrárny (81 %), za nimi následuje spalování pevného městského odpadu (8 %), geotermální energie (5 %), biomasa (4 %) a energie větru (2 %).

Česká republika se zavázala do r. 2010 pokrývat 8 % hrubé domácí spotřeby elektřiny z obnovitelných zdrojů (dnes jsou to pouze asi 3 %).<sup>40</sup>

#### **4.8. Omezení vzniku derivátů**

Několika ze 12 hlavních principů zelené chemie se prolíná zásada nevytvářet zbytečný odpad. Tuto zásadu by podle mě měl mít neustále na paměti každý jednotlivec a měl by se snažit ji dodržovat. Ujít o pár kroků víc ke kontejnerům s tříděným odpadem a nakupovat výrobky ve vratném nebo snadno recyklovatelném např. papírovém obalu by mělo být samozřejmostí pro každého z nás. Děti by měly být od útlého věku k tomuto ohleduplnému jednání vedeny rodiči a následně svými učiteli, zejména na základních školách.

Zamezit vzniku odpadu se bohužel nepodaří nikdy. Problémy s komunálním odpadem by (částečně) pomohlo vyřešit jeho třídění. Podstatnou skupinou odpadu je však odpad průmyslový. Zvláště odpad z chemického průmyslu je velmi nebezpečný – při jeho úniku totiž může dojít k poškození životního prostředí, např. vody, do vzdálenosti až několika stovek kilometrů od místa nehody. Následná náprava je velmi nákladná a dlouhodobá.

Pochopitelně doprovázená nežádoucím ohlasem médií pro podnik, který ji způsobil, což se může negativně odrazit v jeho ekonomické bilanci. Snahou průmyslových závodů tedy je (mělo by být), zavádět čisté a bezpečné technologie. Je na ně vyvíjen nejen tlak ze strany státních institucí i veřejnosti, ale nové technologie se navíc v širším časovém horizontu vyplácí víc, než neustálé nákladné likvidování nebezpečného odpadu.

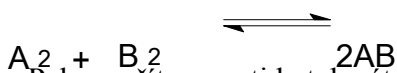
Řada odborníků na celém světě se proto věnuje výzkumu nových reakčních mechanismů, při kterých by vznikal pouze žádaný produkt, nikoliv odpad. Jedná se zejména o hledání nových možností jak získat požadované adukty bez vzniku jejich nebezpečných balastních derivátů. V případech, kdy je to proveditelné, jsou upravovány mechanismy již používané v praxi, nebo jsou hledány nové postupy.

Nebezpečí odpadů provází chemický průmysl po celou dobu jeho existence a dostává se do popředí zájmu zejména poslední dobou, kdy si celá veřejnost uvědomuje katastrofický stav životního prostředí. Tento negativní jev vrhá špatné světlo na chemii jako takovou. Proto je snaha vyřešit tento problém, pomoci životnímu prostředí a změnit tak názor veřejnosti prioritou zelené chemie.<sup>1</sup>

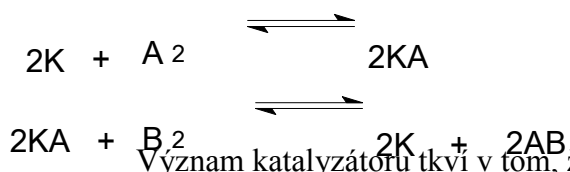
#### 4.9. Katalyzátory

Přidáním látky (katalyzátoru) v množství mnohem menším než stechiometrickém se dosáhne katalýzy – změny rychlosti reakce. Katalyzátor je možné (teoreticky) opět kvantitativně získat v původním stavu. Katalyzátory mohou zvyšovat i snižovat rychlost chemické reakce, téměř výlučně se však používají ke zvýšení rychlosti reakce.<sup>41</sup>

Katalyzátor nelze považovat ani za výchozí látku ani za produkt reakce. Princip účinku katalyzátoru lze vysvětlit na obecném příkladu reakce látek  $A_2$  a  $B_2$  na produkt  $AB$ . Odpovídá-li průběh reakce bez katalyzátoru rovnici:



Pak za přítomnosti katalyzátoru  $K$  probíhá reakce tak, že jedna z výchozích látek (např.  $A_2$ ) vytvoří s katalyzátorem nestálý meziprodukt. Ten se při reakci s druhou výchozí látkou rozkládá za vzniku reakčních produktů a současně regenerace katalyzátoru, jak naznačuje schéma:



Význam katalyzátoru tkví v tom, že vede reakci jiným reakčním mechanismem.

Aktivační energie každé dílčí reakce u tohoto mechanismu je pak menší než aktivační energie

původní reakce, která probíhala bez katalyzátoru. Katalyzovaná reakce proto probíhá rychleji než reakce nekatalyzovaná.<sup>42</sup>

Katalýza může být homogenní nebo heterogenní.

**Homogenní katalýza** – katalytický systém, ve kterém katalyzátor a reaktanty jsou molekulárně rozptýlené a tvoří jednu fázi. Mezi časté homogenní katalyzátory patří kyseliny a báze.

**Heterogenní katalýza** – katalytický systém, ve kterém katalyzátor tvoří oddělenou fázi. Katalyzátorem je obvykle tuhá látka, zatímco reaktanty a produkty jsou buď plyny, nebo kapaliny. Katalytická reakce probíhá na povrchu katalyzátoru a reakční rychlost závisí na velikosti povrchu katalyzátoru.<sup>41</sup>

Je-li reakce katalyzována některým z produktů reakce, nazývá se autokatalytická (autokatalýza). Zprvu, než se vytvoří účinné množství katalyzujícího produktu, probíhá velmi pomalu, později se její rychlost značně zvyší.<sup>42</sup>

Oblast katalýz je jedním ze základních pilířů zelené chemie. Značná pozornost je jí věnována zejména pro schopnost katalyzátorů snížit energetickou náročnost a množství reagentů potřebných pro chod reakce a zároveň zvýšit selektivitu reakce (katalyzátory vedou reakci ke vzniku zcela určitých produktů, vysoce selektivní – enzymy). Homogenní i heterogenní katalýzy mají řadu výhod a jsou používány v odlišných procesech. U obou typů katalýz byly učiněny významné pokroky „zeleným směrem“.

Heterogenní katalýzy se využívají především v technologiích petrochemického průmyslu a v procesech kontroly životního prostředí. Snižují dopad reakcí na životní prostředí, při jejich použití totiž nevzniká žádný nežádoucí odpad a jedovaté látky, jak se tomu děje u homogenních katalýz (zejména při separaci katalyzátoru). V průmyslovém využití významně snižují náklady, neboť separace katalyzátoru není komplikovaná a tedy ani finančně náročná. Na druhou stranu homogenní katalýzy jsou velmi významné pro vysoce selektivní organické transformace, praktické využití mají především ve farmacii. Jejich největší nedostatek – komplikovaná separace katalyzátoru – podnítil výzkum zelené chemie. Velkým úspěchem se stalo využití membrán (vrstva propustná pro určité typy molekul – mohou jí procházet a nepropustná pro jiné typy molekul), zejména ultra a nanofiltracních. Membrány se začaly nejprve používat pro reakce, v nichž působily drahé enzymy. Jejich využití se rozšířilo i na homogenní katalyzátory. 21. století s sebou přináší zvýšený zájem o čistější technologie, proto tato metoda rychle nachází uplatnění i v průmyslu.<sup>43</sup>

#### 4.10. Navrhování odbouratelných látek

Problematika využití odbouratelných látek v průmyslu je více než 10 let předmětem intenzivního výzkumu zejména v zemích EU a v USA v souvislosti s hledáním obnovitelných

zdrojů, snížením energetické náročnosti postupů a minimalizací produkce odpadů v chemickém průmyslu. Rostlinné produkty jsou obnovitelné, biologicky snadno odbouratelné zdroje, použitelné pro řadu technických aplikací. Zajímavé možnosti nabízejí například rostlinné oleje a jejich deriváty. Hlavní složkou olejů jsou triglyceridy mastných kyselin, které tvoří 95-98 % lipidů a nejvíce ovlivňují jejich vlastnosti. Dlouhé řetězce molekul mastných kyselin nabízejí svou rozdílnou délkou a zastoupením funkčních reaktivních skupin (nenasycené dvojné vazby, hydroxylové skupiny, oxiranové skupiny apod.) velký počet chemických přeměn.<sup>44</sup>

Praktické využití rostlinných olejů nabízí mimo jiné průmysl nátěrových hmot. Pro jeho potřeby jsou obecně vhodné rostlinné oleje s vysokým podílem nenasycených mastných kyselin (dvojná vazba v molekule) a ještě výhodnější jsou oleje s konjugovanými dvojnými vazbami. Dále jsou vhodné oleje se zvýšeným podílem hydroxylových nebo epoxidových reaktivních skupin. Oleje obsahující převážně nenasycené mastné kyseliny jsou označovány jako vysychavé. Vysychavost je způsobena přítomností dvojných vazeb, na kterých se po odtržení atomu vodíku vytvoří volný radikál, který reaguje s kyslíkem. Rychlost okysličování roste s počtem dvojných vazeb. Kyselina linolová se dvěma dvojnými vazbami se oxiduje přibližně desetkrát a kyselina linolenová se třemi dvojnými vazbami až dvacetkrát rychleji než kyselina olejová s jednou dvojnou vazbou.

Převážná část na vzduchu schnoucích i vypalovacích nátěrových hmot je vyráběna na bázi rostlinných olejů ze sóji, lnu, řepky nebo skočce. Využitelné jsou i oleje z máku, slunečnice a konopí. V současné době jsou vyhledávány další vhodné zdroje rostlinných olejů s vysokým obsahem kyseliny linolové nebo linolenové, poskytujících kvalitní a cenově přijatelnou surovinu pro přípravu ekologicky příznivějších nátěrových hmot. Jestliže získaná surovina bude dosahovat stejných kvalitativních parametrů jako výrobky ze syntetických surovin a ekonomické náklady budou úměrné, bude dosaženo hned několika přínosů. Zpracovatelský průmysl získá obnovitelnou a snadno odbouratelnou surovinu z domácí produkce. Zároveň dojde k využití nadbytečné orné půdy k nepotravinářské produkci a případným pěstitelům těchto rostlin bude zajištěn stabilní odbyt produktů.<sup>45</sup>

#### **4.11. Aktuální analytické metody pro zjištění znečištění**

Chemizace prostředí se projevuje ve všech složkách přírody a ovlivňuje náš každodenní život. Existují již přes čtyři milióny uměle vyrobených látek a ročně jich mnoho tisíc přibývá. Některé z těchto látek, jejich rozpadové zbytky (rezidua) a zplodiny vzniklé při jejich výrobě či použití se dostávají do potravních řetězců, do půdy, vody a do vzduchu. Znečišťují životní prostředí a ohrožují tím organismy.<sup>12</sup>

Zatímco znečištění ovzduší a vody se dá již poměrně dobře zjišťovat a měřit, znečištění povrchových částí zemské kůry, zejména půdy, se měří méně snadno, neboť má dlouhodobý charakter (jedná se především o vliv složek prašného spadu z okolí průmyslových závodů, elektráren, spaloven pevného odpadu, skládek netříděného odpadu, ze zemědělství aj.).

Znečištění – kontaminace – životního prostředí se zjišťuje fyzikálními, chemickými, fyzikálně chemickými i biologickými metodami. Určuje se druh škodliviny, její množství (obsah, koncentrace) i její změny v čase.

Stanovení anorganických látek se provádí zejména atomovou absorpční spektrometrií. Metoda využívá schopnost atomů zkoumaného vzorku absorbovat jen záření určité vlnové délky. Umožňuje stanovit asi 70 prvků, a to s citlivostí až do  $10^{-12}$  g. Spektrofotometrie určuje látky podle intenzity zabarvení zkoumaného roztoku. Elektrochemické metody určují složení vzorků na základě hodnot protékajícího proudu v závislosti na vloženém napětí. Organické látky se určují také chromatografickými metodami a hmotnostní a infračervenou spektroskopií.

### **Znečištění ovzduší**

Přírozené „znečištění“ atmosféry vytvářejí kromě ozonu další minoritní plynné složky – vodní pára, oxid uhličitý –  $\text{CO}_2$ , oxid uhelnatý –  $\text{CO}$ , oxid dusný –  $\text{N}_2\text{O}$  aj. (při vulkanické činnosti i sloučeniny síry) s proměnlivým zastoupením v prostoru i čase – a pevné částice rozmanitého původu (prach, mikroorganismy aj.). Přírozené znečištění dosahuje sice často mezních hodnot, ale přírodu trvale neohrožuje.

Plynné, kapalné i pevné částice, které se do ovzduší dostávají lidskou činností, včetně tepla, hluku a různých typů záření, označujeme jako antropogenní znečištění. Jeho zdrojem je energetika, průmysl, doprava, zemědělství i jednotlivé domácnosti. K plynným látkám patří oxid siřičitý –  $\text{SO}_2$ , který se dostává do ovzduší spalováním fosilních paliv obsahujících síru. V troposféře se snadno oxiduje na oxid sírový,  $\text{SO}_3$ , vzniká kyselina sírová i sírany, které se stávají složkou kyselé atmosférické depozice známé pod označením kyselé deště. Asi 30 až 50 % přispívají ke kyselým deštům oxidy dusíku. Souhrnné označení  $\text{NO}_x$  zahrnuje oxid dusný –  $\text{N}_2\text{O}$ , oxid dusnatý –  $\text{NO}$  a oxid dusičitý –  $\text{NO}_2$ . Oxidy dusíku, převážně  $\text{NO}$  a  $\text{NO}_2$ , vznikají ze vzdušného kyslíku a dusíku při spalovacích procesech za vysokých teplot. Část oxidů se oxiduje na kyselinu dusičnou a dusičnany (podílející se, jak bylo již zmíněno, na kyselých deštích), část přispívá ke vzniku troposférického ozonu a nebezpečných organických látek – peroxyacylnitrátů. Oxidy dusíku se podílejí také na odbourávání stratosférického



ozonu. Oxid uhelnatý produkují především spalovací motory, zejména při tzv. volnoběhu motoru. Nedokonalým spalováním kapalných paliv se dostávají do ovzduší produkty, které účinkem slunečního záření spolu s oxidy dusíku nebo radikály poskytují škodliviny spolupůsobící při odumírání lesů a při smogové situaci. Závažnou škodlivinou v ovzduší jsou prachové částice, často obsahující těžké kovy (Olovo – Pb, Kadmium – Cd aj.)

### **Znečištění vod**

Přírodní vody (podzemní – prosté a minerální – nebo vody povrchové – sladké i slané) obsahují rozpuštěné plyny, hlavně  $O_2$  a  $CO_2$ , anorganické látky většinou ve formě iontů ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  aj.), organické látky a mikroorganismy. Mořská voda obsahuje asi 3,5 % hmot. chloridu sodného – NaCl a asi 70 prvků o nepatrných koncentracích. Antropogenní činností dochází v různé míře na různých místech ke změnám složení vod. Zvyšují se koncentrace přirozených složek, nebo se do vod dostávají nové nežádoucí anorganické i organické látky rozpustné i nerozpustné. Neméně závažné je také tepelné znečištění vod (až 80 % vody používané v průmyslu slouží k chlazení, takže odpadní vody oteplují vodní zdroje, což narušuje chemické a biologické děje ve vodách).

Při používání vodních zdrojů pro výrobu pitné vody se sleduje obsah několika desítek látek včetně mikroorganismů (podle příslušné státní normy). Zdrojů kvalitní pitné vody vlivem znečišťování vodních toků a nádrží i průsakem do podzemních vod ubývá, výroba je ekonomicky stále náročnější.

Neméně náročné je i čištění odpadních vod z průmyslu, zemědělské výroby a z domácností. Znečištění způsobují zvýšené obsahy kovů, dusičnanů, fosforečnanů a rozmanitých organických látek. Patří mezi ně ropné produkty, chlorované uhlovodíky, polychlorované bifenylly, pesticidy, detergenty aj.<sup>46</sup> Vypouštění odpadů z potravinářského průmyslu, komunální odpady či spalování zbytků hnojiv z polí vede k eutrofizaci vod. Znamená to, že se následkem vysokého obsahu živin (zejména dusíku a fosforu) přemnoží řasy a vodní hladina jimi zarůstá. Tím se znemožní výměna plynů mezi vodou a ovzduším a ve vodě ubývá kyslík, protože se spotřebovává na hnilobné procesy, voda se postupně stává mrtvou.<sup>12</sup>

### **Znečištění půdy**

Půda je ohrožována kyselými dešti, nežádoucími vlivy rozsáhlé chemizace v současném zemědělství i používáním těžkých strojů, které ničí půdní strukturu. Narušení života v půdě vede ke snižování její úrodnosti, působením vodní a větrné eroze (odnosem) půdu ztrácíme. V současné době se u nás erozí ztrácí ročně průměrně asi 0,5 m<sup>3</sup> půdy na 1 ha.<sup>12</sup>

Stav životního prostředí nás nutí změnit své bezohledné chování. Zkušenosti ukazují, že je lépe se vyhnout znečištění, než jej posléze napravovat. Dochází proto ke zpřísnění kontrol, jsou vyvíjena nová zařízení a metody, aby došlo k včasnému zachycení případného nežádoucího úniku. Ruku v ruce s vývojem nových látek musí jít také vývoj metod určených k jejich monitorování, aby nedocházelo ke znečištění, které nejsou schopny zastaralé metody a zařízení zaznamenat. Tato zařízení musí vyhovovat kritériím efektivní kontroly životního prostředí a zároveň musí splňovat zásady zelené chemie.

Hlavní důraz je kladen na to, aby:

- a) při použití těchto zařízení nevznikal odpad či škodlivé látky,
- b) zařízení byla použitelná na původním místě (vzorek nemusí být převážen do laboratoře),
- c) vzorky byly vyhodnoceny okamžitě, aby mohla být včas zahájena případná náprava,
- d) obsluha těchto zařízení byla snadná.

**ad a)** Poslední dobou je velká pozornost věnována vývoji nových zařízení pro elektrochemické metody. Tyto metody jsou pro nás zajímavé zejména pro jejich přesnost, široké pole působnosti a univerzalitu.

Elektrochemické metody (potenciometrie, polarografie aj.), jimiž zjišťujeme například  $pH$  či vodivost daného vzorku, se řadí mezi nejběžnější metody používané již po mnoho let. Jsou velmi efektivní a jejich velkou výhodou je, že mají minimální dopad na životní prostředí.<sup>47</sup>

Speciální elektrochemická metoda – polarografie – nás proslavila. Za její vypracování byla v roce 1959 udělena Nobelova cena za chemii profesoru Karlovy univerzity **Jaroslavu Heyrovskému** (1890–1967).

Klasická polarografie sleduje změny elektrického proudu procházejícího zkoumaným roztokem pomocí rtuťové kapkové elektrody, na kterou se vkládá plynule se zvětšující napětí. Ze závislosti proudu na napětí získáme údaje o kvalitě i kvantitě stanovování látek v roztoku. Kapková elektroda má řadu výhod: po odkápnutí je povrch rtuti opět čistý, (neznehodnocený předchozí elektrolýzou), na rtuti lze pracovat i se značně negativními potenciály, hodí se pro zkoumání redoxních systémů, výsledky jsou velmi dobře reprodukovatelné aj.<sup>48</sup>

Přes tyto nesporné klady, nevyhovuje rtuťová kapková elektroda zásadám zelené chemie. Během měření může vzniknout až několik gramů odpadní rtuti. Rtuť je jedovatou látkou a vzhledem k tomu, že rtuťová kapková elektroda našla uplatnění v mnoha oborech (životní prostředí, medicína, farmacie, potravinářství, zemědělství, vodohospodářství) je nutno ji nahradit elektrodou jinou a zamezit tak vzniku nebezpečného odpadu.

Řada alternativních elektrod již byla vyvinuta. Vysoce kvalitní a se rtuťovou elektrodou srovnatelná se jeví být elektroda opatřená vrstvou bismutu. Bismut je považován za zelený prvek, je pouze mírně jedovatý a nabízí široký okruh využití. Další možnosti nabízí již používané uhlíkové elektrody. Zajímavé jsou zejména pro jejich netečnost k ostatním chemikáliím a nízké pořizovací náklady.

**ad b)** Se vstupem do 21. století končí naše závislost na těžkopádných elektrochemických jednotkách a objemných elektrodách. Nastává období rychlých, malých, automaticky řízených, lehce ovladatelných a životnímu prostředí neškodlivých systémů. V posledních letech byla vyvinuta celá řada zařízení pro sledování znečištění přímo v místě. Jsou tak nahrazeny zdoluhavé procesy vyhodnocování vzorků (odběr vzorku, jeho převoz, měření v centrální laboratoři).

**ad c)** Sledování přímo v místě nabízí nejen rychlé vyhodnocení chemických informací, minimalizuje chyby a finanční náklady související s analýzami prováděnými v laboratoři, ale zároveň umožňuje okamžitý zásah v případě nenadálých změn.

**ad d)** Nová generace zařízení monitorujících znečištění nevyžaduje tak náročné operace jako klasická laboratorní analýza a použití je proto nesrovnatelně snazší.<sup>47</sup>

#### **4.12. Bezpečnější chemie – prevence nehod**

Posledním, nikoliv však co se důležitosti týče, principem zelené chemie je požadavek bezpečnosti při chemických procesech. Tento požadavek je prakticky zakotven ve všech předchozích principech, počínaje prevencí vzniku nebezpečných odpadů, přes používání bezpečnějších rozpouštědel a včasným monitorováním škodlivin novými analytickými metodami konče. Dodržováním všech uvedených principů je možno dosáhnout bezpečnější chemie. Chemie, kterou snad příští generace nebudou spojovat jen s odumírajícími lesy, s vyhynulými živočichy nebo s jinými následky chemických katastrof. Chemie se svými poznatky by totiž měla být a v mnohých případech již je nápomocna při řešení řady globálních problémů lidstva.

Pro učitele chemie znamená bezpečnost základní podmínku jeho práce. Výuka chemie je upravena řadou právních předpisů, kterými se musí učitel řídit a jejichž aktuálnost musí neustále sledovat. Předpisy dbající bezpečnosti žáků jsou neustále zpřísnovány. Má-li zůstat chemie díky svým experimentům stále lákavou, je nutno hledat náhrady za nebezpečné či zdraví škodlivé látky, které by žáci mohli používat. Tak jako odborníci zelené chemie sahají často po přírodních a snadno dostupných látkách, mohou i učitelé tyto látky použít při pokusech v laboratorních úlohách.

Několik tipů na takovéto úlohy je uvedeno v kapitole č. 7 – Zelené pokusy. Všechny „chemikálie“ v nich použité jsou bezpečné a najdeme je téměř v každé domácnosti. Postup úloh je sestaven tak, aby žák mohl provádět úlohu sám, např. jako domácí úkol. Přesná množství, k jejichž odměření by bylo zapotřebí laboratorního nádobí nejsou proto uváděna, množství je přibližně odměřováno pomocí lžic. Úlohy jsou nenáročné a krátké, na konci jsou základní poznatky, k nimž by měl žák dospět, shrnuty v závěru. Měly by sloužit především pro motivaci k výuce chemie a pro její přiblížení každodennímu životu.

### Seznam použité literatury

- 1) Anastas P.: Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry. *Accounts of Chemical Research* **2002**, 35/9, 686.
- 2) <http://pubs.acs.org/cen/coverstory/7929/7929greenchem.html>
- 3) <http://www.epa.gov/greenchemistry/principles.html>
- 4) <http://www.chemistry.org/portal/a/c/s/1/acsdisplay.html?DOC=education\greenchem\introgreenchem.html>
- 5) <http://academic.scranton.edu/faculty/CANNM1/intro.html>
- 6) <http://www.chemistry.org/education/chemmatters.html>
- 7) <http://www.usgs.gov/education/>
- 8) <http://www.greenchemistry.ca/12%20principles.html>
- 9) <http://www.epa.gov/greenchemistry/principles.html>
- 10) Hospodárné zplyňování. *Odpadové fórum* **2002/3**, 8.
- 11) Hyžík J.: Fluidní spalování – nástroj k energetickému využívání surových čistiřských kalů. *Alternativní energie* **2002/6**, 5, 24.
- 12) Kvasničková, D.: *Základy ekologie*, 1. vyd. Praha, Scientia, **1994**, 63-68. ISBN 80-85827-84-0
- 13) Trost B. M.: On Inventing Reactions for Atom Economy. *Accounts of Chemical Research* **2002**, 35/9, 695.
- 14) <http://darkwing.uoregon.edu/~hutchlab/greenchem/whygreen.html>
- 15) <http://www.epa.gov/gcc/aspa97.html>
- 16) <http://www.chemsoc.org/pdf/GCN/schoolslecture05.pdf>
- 17) <http://www.chemsoc.org/pdf/gcn/LimonenePractical.pdf>
- 18) Leitner W.: Supercritical Carbon Dioxide as a Green Reaction Medium for Catalysis. *Accounts of Chemical Research* **2002**, 35/9, 746.
- 19) [http://cfpub.epa.gov/ncer\\_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.abstractDetail/abstract/932/report/F](http://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.abstractDetail/abstract/932/report/F)
- 20) Larhed, M., Moberg, CH., Hallberg, A.: Microwave-Accelerated Homogeneous Catalysis in Organic Chemistry. *Accounts of Chemical Research* **2002**, 35/ 9, 717.
- 21) Polanecký K.: Jak neohřívát zeměkouli. Brno 2003, 5-9. ISBN 80-902823-8-5
- 22) <http://www.quido.cz/ekologie/1.htm>
- 23) Skácel D.: Člověk a energie v souvislostech. *Alternativní energie*, **2003/6**, ročník VI., 25.
- 24) Lichtenthaler F. W.: Unsaturated O- and N-Heterocycles from Carbohydrate Feedstocks. *Accounts of Chemical Research* **2002**, 35/9, 728.
- 25) Kleczek J.: Povídání o energii – Sluneční energie na Zemi. *Alternativní energie*, **2002/3**, ročník V., 1,27.
- 26) Gežo M.: Větrné turbíny v 21. století. *Alternativní energie*, **2003/6**, ročník VI., 1,27.

- 27) Mocek K.: Elektřina z energie větru. *Alternativní energie*, **2003/9**, ročník VI., 18-19.
- 28) <http://www.emcon.cz/energieslun.html>
- 29) [http://physics.muni.cz/~blazkova/Alternativni\\_zdroje3.htm](http://physics.muni.cz/~blazkova/Alternativni_zdroje3.htm)
- 30) [http://www.eon.cz/file/cs/customers/citizen/customer\\_service/Alternativni\\_zdroje.pdf](http://www.eon.cz/file/cs/customers/citizen/customer_service/Alternativni_zdroje.pdf)
- 31) <http://emcon.cz/tepcerpadla.html>
- 32) Guzek K.: Praktické využití tepelných čerpadel. *Alternativní energie*, **2002/3**, ročník V., 5.
- 33) <http://www.energ.cz/index.phtml?polozka=30%20-%2039k%20->
- 34) <http://www.emcon.cz/enrgievody.html>
- 35) <http://www.marineturbines.com>
- 36) Rozvoj využití OZE ve Velké Británii. *Alternativní energie*, **2003/6**, ročník VI., 25.
- 37) <http://www.rgu.ac.uk>
- 38) <http://www.emcon.cz/energiebiom.html>
- 39) Sladký, V., Dvořák, J., Andert, D.: Obnovitelné zdroje energie – fytopaliva, Praha VÚZT 2002. ISBN 80-238-99-52-X
- 40) Winkelmanová N.: Výhledy pro českou energetiku. *Alternativní energie*, **2003/6**, ročník VI., 5.
- 41) Orchin M., Kaplan F., Macomber R. S., Wilson R. M., Zimmer H.: *Organická chemie: příruční naučný slovník*. 1. vyd., Praha, SNTL, **1986**, 259.
- 42) Vacík J. a kol.: *Přehled středoškolské chemie*. 1. vyd., Praha, SPN, **1996**, 125. ISBN 80-85937-08-5
- 43) Dijkstra, H. M.: The Use of Ultra- and Nanofiltration Techniques in Homogeneous Catalyst Recycling. *Accounts of Chemical Research* **2002**, 35/9, 798.
- 44) Overeem, A.: Seed Oils Rich in Linolenic Acid as Renewable Feedstock for Environment-friendly Crosslinkers in Powder Coatings. *Industrial Crops and Products* **1999**, 10, 157.
- 45) <http://www.mendelu.cz/~agro/af/mendelnet2003/obsahy/fyto/streda.pdf>
- 46) Vacík J. a kol.: *Přehled středoškolské chemie*. 1. vyd., Praha, SPN, **1996**, 14. ISBN 80-85937-08-5
- 47) Wang, J.: Real-Time Electrochemical Monitoring: Toward Green Analytical Chemistry. *Accounts of Chemical Research*. September **2002**, 35/ 9, 811.

*Na dalších stranách následuje vlastní text příspěvku 10 – 25 stran (Word, PP). Mohou být vytvořena i krátká sdělení (podněty, potřeby, zkušenosti) v rozsahu 2-5 stran. Vše bude upraveno do formátu pdf. Používejte základní nastavení Wordu (velikost písma 12, Times New Roman, co nejméně formátování a dalších úprav, obrázky a tabulky jako součást textu).*