Chemická technologie a lidské společenství

Akademie věd České republiky

věda kolem nás
22
výzvy a otázky

Ústav chemických procesů Akademie věd České republiky, v. v. i., je jedním ze šesti ústavů sekce chemických věd AV ČR a centrem výzkumu v oblasti chemie, biochemie, katalýzy a životního prostředí. Ústav (s původním názvem Ústav teoretických základů chemické techniky – ÚTZCHT) vznikl v Československé akademii věd r. 1960 a byl od samého počátku budován jakožto multidisciplinární vědecké pracoviště.

Jeho zakladatel a první ředitel prof. Vladimír Bažant byl chemický technolog s širokým rozhledem a ctil moderní koncepci, bez které by se vývoj nových procesů nemohl úspěšně uskutečňovat. S tím vědomím přizval ke spolupráci chemického inženýra prof. George L. Standarta, rodáka z USA, který v padesátých a šedesátých letech 20. století položil základní kámen k vývoji oboru chemického inženýrství u nás. Vědecký výzkum chemických procesů se samozřejmě nemohl obejít ani bez solidního fyzikálně chemického základu. Neobyčejně šťastnou okolností pro ústav byl proto příchod prof. Eduarda Hály a jeho týmu fyzikálních chemiků do nově budovaného areálu na severozápadním předměstí Prahy v Suchdole-Lysolajích, který byl otevřen v roce 1964. Postupně byly v ústavu nově rozvíjeny další obory chemického inženýrství a chemické technologie, jako např. reaktorové inženýrství, homogenní a heterogenní katalýza, studium chování nenewtonských tekutin, sublimace, separační procesy, dynamika a řízení chemických systémů a jiné. Většina těchto nových podoborů byla zavedena jako logicky potřebná podpora rozsáhlého a víceletého projektu pro vývoj kompletní technologie kyseliny tereftalové a polyesterů.

Po roce 1989 proběhlo několik reorganizací pracovišť ústavu, které vedly k postupnému snížení stavu pracovníků o 50 %. Výzkum byl racionálně integrován, což se odrazilo v nynější struktuře ústavu. Jeho název byl v roce 1993 změněn na Ústav chemických procesů. Ten lépe vystihuje charakter dnešního pracoviště, které se 1. 1. 2007 stalo veřejnou výzkumnou institucí (v. v. i.). Tradiční anglický název Institute of Chemical Process Fundamentals přitom zůstal zachován.

V současné době je Ústav významným centrem výzkumu v oblasti chemie, chemické technologie, procesního inženýrství, biotechnologie, katalýzy i environmentálních procesů. Studují se zde vícefázové reagující systémy pro návrh chemických procesů v oblastech syntézy a přípravy nových materiálů, energetiky a ochrany životního prostředí. Týmy vědeckých pracovníků ÚCHP řeší v současnosti desítky zajímavých projektů základního i aplikovaného výzkumu, financovaných jak ze zahraničí, tak z tuzemských zdrojů, které dokumentují šíři a multidisciplinaritu výzkumu řešeného v laboratořích ústavu. Mezi nová témata rozvíjená v posledních letech patří mimo jiné také výzkum chemie a fyziky aerosolů, chemických procesů iniciovaných a urychlovaných laserovým, resp. mikrovlnným zářením i vývoj recyklačních technologií pro zpracování odpadů.

Úvod

V našich každodenních aktivitách jsme obklopeni užitečnými chemickými látkami, aniž si to možná v plné šíři uvědomujeme. K chemickým přeměnám látek dochází nejen v našem bezprostředním okolí; chemické reakce rozličných molekul se odehrávají v atmosféře, v rostlinách a všech živých organismech, včetně nás samotných.

Pokud nechceme opustit pohodlí dnešního života a vrátit se zpět někdy do poloviny předminulého století, kdy se lidé podívali jen tam, kam došli pěšky, a ti majetnější dojeli někam o trochu dále na koni, a kdy průměrný věk obyvatelstva byl o několik desítek let kratší, než je tomu dnes, nezbývá nám, než solidně pochopit souvislosti světa, ve kterém žijeme, a tomu přizpůsobit naše požadavky na životní potřeby. Toto platí bez jakékoliv výjimky i pro chemii. Obavy laické veřejnosti z této disciplíny ustoupí do pozadí tehdy, když jí dobře porozumíme, když si uvědomíme, jak správně a bezpečně zacházet s chemickými výrobky, jak je používat k našemu prospěchu a také jak je recyklovat sofistikovanými chemickými procesy, když už je nepotřebujeme.

Začneme-li naši úvahu od prvopočátku, nelze nezmínit snahy alchymistů o pochopení podstaty transformačních procesů, které se v přírodě odehrávají. Tehdy, ještě před Mendělejevem a jeho periodickým zákonem prvků, si alchymisté vystačili s pouhými čtyřmi elementy – půda, voda, vzduch a oheň. Jejich „dílna“ z dob

Obr. 1 Staročeská laboratoř alchymistů (NTM Praha)

alchymisty Edwarda Kelleyho (1555 Dencester – 1597 Most) mohla vypadat třeba jako historická expozice v Národním technickém muzeu v Praze (obr. 1).

V dnešní terminologii bychom mohli říci, že se zabývali čtyřmi stavy hmoty, tedy fází pevnou, kapalnou, plynnou a plazmou, či zjednodušeně hmotou a energií. Již tehdy si alchymisté patrně uvědomovali, že technologie přeměny surovin není bez energie možná. Proto také historií celého lidstva prolínají všelijaké spory, výboje a války o tyto přírodní elementy. Proto stejně jako v minulosti i dnes mají armády všech mocichtivých mocností k ovládání uvedených čtyř živlů pozemní, námořní a vzdušné síly a k tomu ještě energetické materiály, jak se dnes výbušiny a třaskaviny eufemisticky nazývají…

Vraťme se ale zpět k postavení chemie a chemické technologie v současné době a pojďme si krátce připomenout ty sféry naší existence, které bychom bez chemie, chemických procesů a výrobků museli oželet, a současně se zamysleme nad tím, zda s chemickými látkami zacházíme tak, abychom sami nezpůsobovali nějakou vážnou škodu na životním prostředí či na našem vlastním zdraví a abychom všechny složky životního prostředí naší planety předali budoucím generacím v solidním stavu.

Chemie pro život

Chemie jako obor bývá často pranýřována sdělovacími prostředky, ekologickými aktivisty a potažmo laickou veřejností za to, že škodí zdraví lidí a dalších živočichů a poškozuje životní prostředí… a navíc je to málo oblíbený předmět na základních školách. V této souvislosti je třeba připomenout, že bez tohoto oboru by současný pohodlný životní standard, na který jsme si tak snadno zvykli, vůbec nemohl existovat.

Chemický průmysl je se svými výrobky neodmyslitelnou základnou pro všechny rezorty národního hospodářství, ale přitom vychází v drtivé míře z fosilních surovin, ať jsou to minerály a rudy pro anorganické výrobky (například hnojiva, pigmenty pro nátěrové hmoty, metalurgii, prostředky pro výrobu skla, keramiky apod.), nebo uhlí, ropa a plyn pro celou plejádu organických výrobků (polymerní materiály, léčiva, potravinové doplňky, barviva, nátěrové hmoty, zemědělské ochranné prostředky, drogistické a parfumérské zboží apod.). Zajišťuje vstupy vlastně do všech výrobních postupů ostatních rezortů. Chemickými procesy se čistí komunální a průmyslové odpadní vody, odstraňují škodliviny ze spalin tepelných elektráren i dopravních prostředků, produkují se veškeré stavební hmoty (kromě dřevěného řeziva), zemědělské ochranné prostředky, hnojiva ale také mnoho různorodých materiálů pro velmi užitečné věci každodenní potřeby, ať jsou to třeba oděvy, obuv, spotřební elektronika, mobilní telefony či sportovní potřeby.

Samostatnou kapitolou je chemická podpora zemědělské výroby i produkce potravin. Základní potravinou je samozřejmě pitná voda. Její výrobou se zabývá řada velkých i malých vodáren, kde se citlivými chemickými a biologickými rozbory kontroluje její kvalita. Likvidace nečistot a cizorodých látek se provádí účinnou filtrací, k odstraňování choroboplodných zárodků se většinou používá chlor, někdy rovněž ozon. Je jasné, že i k tomuto účelu je nezbytné jedovatý chlor či ozon vyrábět.

K zabezpečení dostatku potravin pro obyvatelstvo je nutná intenzivní zemědělská výroba, která se neobejde bez masivní produkce anorganických průmyslových

hnojiv, kterými se do půdy vrací mimo biogenních i stopové prvky. Bez nich a také bez všelijakých ochranných prostředků rostlin a plodin – pesticidů a různých stimulátorů růstu – není možné zajistit dostatek potravin pro narůstající populaci obyvatelstva na Zemi a současně udržet kvalitu našeho života na úrovni, na kterou jsme si během vývoje zvykli. Je nadmíru jasné, že například bez ochranných chemických postřiků a prostředků proti plevelům by v zemědělské výrobě muselo být zaměstnáváno mnohem více pracovníků, než je tomu v současnosti. Vždyť například v ČR je v zemědělství zaměstnáno pouze několik málo procent práceschopného obyvatelstva (na rozdíl od minulých staletí), přičemž tuzemská zemědělská výroba zajišťuje rozhodující část naší spotřeby potravin.

Chemie na konci světa

Vývoj současného světa je determinován masivní globalizací a celosvětovým nárůstem populace a jejím stárnutím, doprovázenými na druhé straně pokrokem v informačních technologiích, telekomunikacích, přenosech dat všeho druhu, v biotechnologiích, v genových manipulacích a technickým pokrokem ve všech sférách lidského života. Předpoklady k zajištění prosperity a mírového vývoje lidského pokolení jsou všeobecně známy a spočívají v prevenci válečných konfliktů, v soběstačnosti v zásobování potravinami, pitnou vodou, léky a v tak zvaných obnovitelných zdrojích energie. Tyto cíle nelze naplňovat bez mnohostranného, vyváženého úsilí v tak vzdálených oblastech, jako je průmyslová výroba, ekonomika, ochrana životního prostředí a pokrok medicíny pro zajištění solidní kvality života. Budoucí vývoj celé lidské populace bude patrně v dohledné době poznamenán jejím dosud nezřízeným exponenciálním růstem, omezenými zdroji surovin v zemské kůře, kontaminací složek životního prostředí metabolity z životních procesů lidí i ostatních živočichů, tedy prvních tří elementů, definovaných našimi předchůdci alchymisty – půdy, vody a ovzduší. Takový vývoj bude nepochybně doprovázen socioekonomickými problémy založenými na nedostatku úrodné půdy pro výrobu potravin, omezených zdrojích pitné vody, nedostatku léků atd. Budou především důsledkem ekonomických nerovnováh mezi kontinenty, státy a národy naší planety Země…

Pohled na budoucí vývoj kvality našeho života na základě zmíněných aspektů poskytl autorský tým pod vedením Václava Cílka v knize *Tři svíce za budoucnost* (Novela Bohemica) – jde o jakési návody a nápady, jak se vyrovnat s chmurnou představou budoucího pesimistického vývoje našeho života na Zemi. V tomto „almanachu" je uvedena mimo jiné úvaha autora tohoto textu zaměřená na hledání budoucího obrazu chemie a chemické technologie v době, až budou vyčerpány veškeré fosilní zdroje uhlíkatých surovin a případně dalších prvků, jejichž zásoby v horninách zemské kůry se s rozvojem populace na Zemi rovněž prokazatelně tenčí.

Návrat k počátkům chemické lučby

Vývoj chemické technologie doznal za poslední dvě staletí ohromného rozmachu. Když si ale uvědomíme, že vyčerpáním fosilních zdrojů uhlíku bude lidstvo odkázáno výhradně na obnovitelné zdroje, které nám skýtá pouze živá příroda, nezbude příštím generacím našich následovníků nic jiného, než návrat k opravdovým

počátkům chemické lučby. Pravděpodobný plastický obraz takové budoucnosti (řekněme za dvě století) můžeme získat četbou vůbec první česky napsané učebnice Vojtěcha Šafaříka *Základové chemie, čili lučby* (později vyučoval chemii mj. na české polytechnice v Praze), vydané za podpory České matice technické (1860). Tato historická kniha skýtá přibližný obraz budoucnosti chemické technologie bez dostupnosti fosilních uhlíkatých surovin – uhlí, ropy a zemního plynu, na kterých je v dané chvíli životní úroveň dnešního standardu vyspělé civilizace fundamentálně závislá. Na 800 stránkách zmíněné monografie není o chemickém využití fosilních surovin ani zmínka.

Obraz budoucnosti chemie bez fosilních surovin a životní úroveň dnešního standardu vyspělé civilizace jsou evidentně v příkrém protikladu. Čím dříve si lidstvo tuto skutečnost uvědomí, tím více času získá na svou adaptaci na skromnější podmínky. Dobrým vodítkem může z pohledu budoucího rozvoje chemie a chemické technologie nepochybně být i tvrzení z pera Vojtěcha Šafaříka, který na stránce 401 zmíněné knihy vlastně předjímá současný masivní nástup biotechnologií:

„Umělé tvoření organických sloučenin, tj. bez pomoci síly životné vládnoucí v bunicích rostlin, nad míru zřídka se daří, a i tam, kde se daří, větším dílem za pravdu lze pokládati, že příroda tvořic tytéž sloučeniny docela jináče sobě počíná, nežli my při umělém jich skládání.“

I pro současného čtenáře může být zajímavé, jaká byla uhlíkatá surovinová základna chemických výrob našich předků. Byly to jednak fermentační procesy na bázi cukerných surovin (třtina, řepa, med, ovoce apod.) poskytující alifatické alkoholy, jejich étery, ale také příslušné aldehydy či ketony po jejich chemické přeměně. Tuky (sádlo, máslo), loje, rybí tuk (z tresek, velryb a tuleňů), vorvaňovina, včelí vosk a také olejnaté rostliny (oliva, slunečnice, řepka, hořčice, len, palma kokosová, vosková a další) byly vždy ceněny pro své mimořádné nutriční hodnoty, ale některé z nich jsou i dnes zdrojem významných vyšších alifatických kyselin, po jejich redukci příslušných mastných alkoholů, ale rovněž také glycerinu.

V citované knize Vojtěcha Šafaříka je dále zmíněno, jak zmýdelněním tuků naši předkové připravovali potřebná mýdla pro osobní hygienu a praní oděvů. Zdrojem uhlovodíků (ale také metanolu) byla tehdy především suchá destilace dřeva (tak zvaný dřevní líh), ale také dehydratace alkoholů (třeba etylén z etanolu), či dekarboxylace solí organických kyselin. Zvláštní postupy byly tehdy aplikovány na zpracování tuku z olejnatých plodin – ořechů, máku, konopí a skočce (ricin).

Samostatnou surovinovou skupinu nejen pro potravinářství, ale i pro přípravu chemických látek transformací či fermentací představovaly tak zvané *uhlohydráty* – tedy cukry. Na tomto místě je třeba zmínit cukr třtinový, hroznový, ovocný, mléčný, dále pak polysacharidy – škrob, klovatiny a také polymerní celulózu. V učebnici je zmiňována mimo jiné také příprava furfuralu, ale tehdy také již známé nitrocelulózy a kolodionu. V textu jsou dále uváděny rozličné glykosidy, tedy látky, obsahující cukernou složku, vyskytující se v přírodě – třeba salicin (kůra vrby červené), quercitrin (dub barvířský), saponin (mydlice), crocin (šafrán), amygdalin (hořké mandle). Rostlinné suroviny dodnes slouží jako různá koření, pro přípravu balzámů, kafru, pryskyřic pro laky, pro výrobu pektinu, glykosidů, tříslovin, hořčin a sladiv, dále pak k získávání různých alkaloidů z léčivých rostlin či zemědělských plodin (mák – kodein, morfin; chinovník – chinin; bramborové klíčky –

solanin; lilek – atropin; čaj, káva – kofein, thein, theobromin; dřišťál – berberin; pepř – piperin).

Naši předkové izolovali také spoustu barviv, alkaloidů z rozličných rostlin; ze zvířecího materiálu se i dnes získávají bílkoviny (albumin, hematin, globulin, fibrin, keratin, kasein), látky klihovité (glutin čili klih, chondrin). V citované knize se dozvíme, jak se izolovala močovina a kyselina močová z moči hospodářských zvířat, jak bylo možné získat kyselinu hippurovou a pod.

První paradigma současnosti: „trvale udržitelný rozvoj"

V poslední době se v politických projevech, v médiích, a tudíž i na veřejnosti často používá protimluv – *udržitelný rozvoj společnosti* a jeho zachování. Každý rozumný člověk ctí platnost a respektování přírodních zákonů, z nichž jedním z nejznámějších je zákon zachování hmoty a energie. V globálním měřítku máme na Zemi přísně omezené přírodní zdroje surovin a neomezený rozvoj společnosti je nesmysl. Kromě toho se nutně vtírá otázka, o jaký hypotetický rozvoj se jedná: *na úkor koho, čeho, čí rozvoj a k čemu?*

Pokud bychom považovali za rozumné udržet kvalitu života a životní úroveň na současné hladině, pak je nutné mluvit přinejmenším o *udržitelné stagnaci společnosti*, a to za předpokladu, že všechny prvky vytěžené ze zemské kůry dokážeme s účinností 100 % recyklovat, což je ovšem rovněž nemožné. Taková představa však jistě logicky narazí na zřejmou neudržitelnost z dlouhodobé časové perspektivy, protože již dnes máme na dohled letopočty kulminace světové těžby ropy, zemního plynu a uhlí, které by příroda mohla z tlející biomasy znovu vytvářet, ale s časovou perspektivou mnoha milionů let. Když si toto uvědomíme, je jasné, že dříve nebo později nastane *útlum rozvoje společnosti*, a na mysl se vnucují třeba tyto otázky:

- *Jsme připraveni na okamžik, kdy dojde ropa, zemní plyn a také uhlí?*
- *Přežije lidstvo moment likvidace zásob fosilních zdrojů ze zemské kůry?*
- *Co bude potom?*

Takovéto vtíravé otázky by měly zajímat nejen futurology, ale každého přemýšlivého člověka. V tomto kontextu zaujímají specifické, interdisciplinární postavení obory chemie, chemické technologie a procesního inženýrství, neboť se uplatňují v mnoha oborech lidské činnosti zajišťujících každodenní potřeby, od biomedicíny až po distribuci energie.

Proto si napříště musíme představit, že veškeré budoucí výrobky mohou počítat jen s důslednou recyklací a obnovitelnými uhlíkatými surovinovými zdroji pro chemický průmysl, který, jak bylo již zmíněno výše, jednoznačně podporuje všechny hospodářské rezorty nezbytné pro chod každé rozvinuté společnosti.

Druhé paradigma: systémy obnovitelné energie

Termín *obnovitelné zdroje energie* (OZE), který se do našeho života pokradmu vloudil, je z fyzikálního pohledu absolutní nesmysl. Jak se malým žákům vysvětluje již na základních školách, energie nevzniká, nezaniká, jen se přeměňuje.

Z globálního pohledu planety Země a pomineme-li malý díl geotermální energie, která je samozřejmě rovněž omezená, pochází veškerá pro nás dostupná energie pouze z povrchu Slunce. To se týká nejen přímého energetického toku, který i tak bude v průběhu vývoje Slunce (coby jakési průměrné hvězdy), a tudíž i sluneční soustavy proměnlivý (ovšem v časové škále miliard let, viz dále), ale i přeměny energetického toku ze Slunce na tyto procesy:

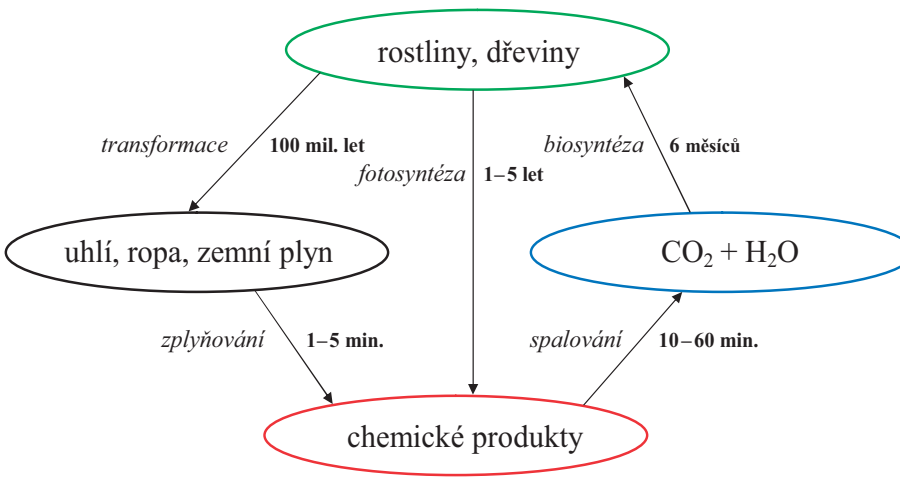
- pohyb atmosféry (větrná energie)
- koloběh vody podložený jejími fázovými přeměnami (vodní energie)
- fotosyntézu organických uhlíkatých biomateriálů (rostliny, dřevo) přeměnitelných anaerobním procesem na fosilní paliva (uhlí, ropa, zemní plyn).

Základní rozpor mezi vývojem procesů v přírodě a ekonomicky motivovanou spotřebou spočívá v kardinálně rozdílném časovém měřítku procesů transformace a koloběhu uhlíku, znázorněném na obrázku 2. Naše náročně neskromná a nedostatečně pokorná lidská civilizace v posledních dvou staletích tento koloběh významně porušila. Vždyť podíl časových konstant zuhelnatění biologického materiálu na fosilní suroviny uhlíku a procesu fotosyntézy činí minimálně 200 000 000!

Současné trendy ve využívání energie v jakékoliv podobě nejsou tedy dlouhodobě vůbec udržitelné. Problém není jen technický nebo bilanční, ale je především environmentální, ekonomický a významně také sociální.

Ani termonukleární fúze není obecným řešením, neboť na chemickou technologii bude klást velmi vysoké nároky a řada problémů zůstává nevyřešena (masivní produkce paliva – těžkých izotopů vodíku – a mimořádně odolných materiálů pro extrémní podmínky). Nelze odsouvat do pozadí ani vývoj dalších nezbytných technologií pro recyklace všech dalších prvků rozptýlených do vysloužilých a odpadních předmětů lidstva.

Obr. 2 Koloběh uhlíku a typické doby trvání chemických a biologických přeměn



Lidstvo od prvopočátku novověku spojovalo svůj rozvoj s vynálezy, které byly motivovány snahou o pohodlnější život podle hesla „lenost je hybná síla pokroku“. K tomu se u většiny lidí přidala absolutní absence skromnosti, neúcta k přírodě a nedostatek pokory. Příští následné generace současný životní styl nepochybně odsoudí jako rozmařilý a chamtivý.

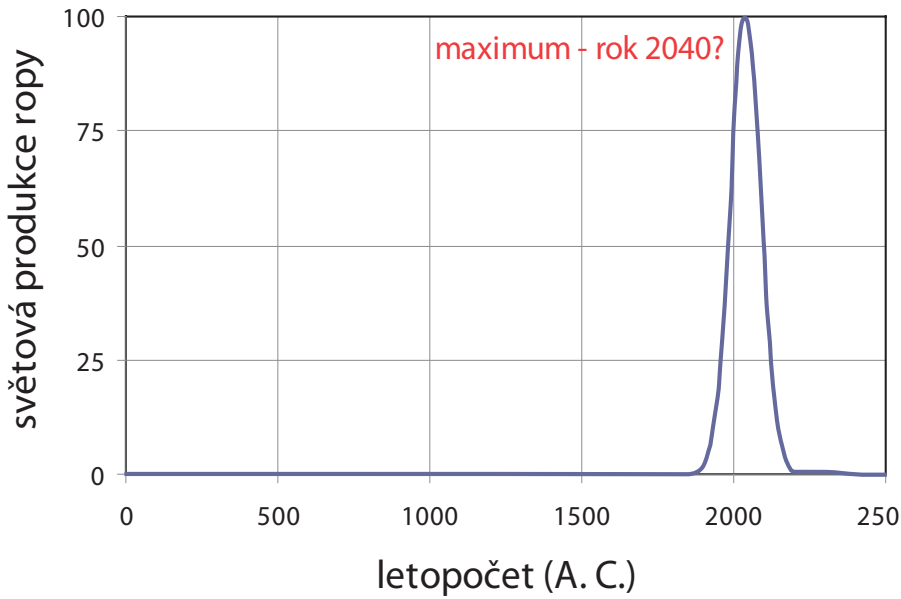
Pochmurný život po vyčerpání fosilních uhlíkatých surovin

Za nezřízenou těžbu fosilních surovin pro zajišťování pohodlného života obyvatel průmyslově rozvinuté části světa bude lidstvo po právu „odměněno“ návratem zpět ke skromnosti, šetrnosti a pokoře. Současné generace budou nejspíš v příštích stoletích odsouzeny za to, že přispěly k vytěžení fosilních zásob uhlíkatých surovin. Vždyť toto bohatství Země, které vznikalo miliony let, bylo, resp. bude vytěženo během několika málo staletí, která uplynula od začátku průmyslové revoluce v 19. století, jak schematicky ilustruje na příkladu ropy obrázek 3.

Je nesporné, že spotřeba fosilních uhlíkových zásob lidskou civilizací k zabezpečení energie byla v posledním století mnohonásobně větší, než činil plynulý tok energie ze Slunce na Zemi, který je samozřejmě nepostradatelný pro fotosyntézu, a tudíž pro samotný život vůbec.

Podle odhadu firmy British Petroleum Co. z roku 2009 činily celosvětové těžitelné zásoby ropy 1258 miliard barelů (http://www.bp.com).

Obr. 3 Historická a odhadovaná budoucí produkce ropy pro spotřebu lidstva
(Gál L., Česká technologická platforma Biofuels: 20. Kongres CHISA, Praha 2012)



Tento údaj, vztažený na tehdejší aktuální roční produkci ropy, poskytuje odhad doby těžitelnosti 42 let, po kterou bude možné spotřebovávat ropu v neztenčené míře jako dosud. Podobný údaj pro zemní plyn, resp. uhlí je rovněž zarážející a činí 60, resp. 122 let.

Podívejme se ještě na celou záležitost nikoliv s ohledem na zřejmé dopady a předpokládané nezbytné změny v energetice (absence zemního plynu pro vytápění budov), v dopravě (absence motorových paliv pro silniční, leteckou, ale i námořní dopravu), v zemědělství (omezení rozlohy orné půdy pro produkci potravin kvůli zajištění biopaliv pro provoz zemědělských strojů), ale především z pohledu chemie, chemického, potravinářského, ale také třeba farmaceutického průmyslu.

Podle současných znalostí o zásobách fosilních surovin v zemské kůře se dá předpokládat, že nejdříve se ze zemské kůry vyčerpají zásoby ropy, pak zemního plynu a nakonec uhlí. Jejich vyčerpáním bude dramaticky utlumena pozemní i letecká doprava (včetně vodíkových a heliových vzducholodí), námořní doprava bude moci využít jen síly větru pro plachetnice. Absence uhlí způsobí nedostatek koksu nezbytného pro výrobu železa a oceli pro celý strojírenský sektor i stavebnictví. Energeticky velmi náročná výroba hliníku se stane rovněž iluzí. Konstrukčním materiálem pro stavebnictví budoucnosti se pak stane, tak jako v minulých dobách, výhradně dřevo, rovné trámy poskytne především rychle a rovně rostoucí smrk.

Obr. 4. Lán řepky olejné u Rokytnice v Orlických horách (foto autor)

Z polymerních materiálů budou k dispozici jen přírodní materiály typu polysacharidů – celulóza, buničina, přírodní kaučuk, gutaperča (izomerní polyizopreny) – nebo polyamidy – bílkoviny.

Na tomto místě asi zatím nemá valný smysl diskutovat provozně stále ještě nepříliš ověřené technologie těžby metanových hydrátů nebo problematické frakování břidlicového plynu. V dané chvíli chybí seriózní zprávy o velikosti zásob v ložiscích, ekonomická rozvaha oproštěná od vlivu manipulace s cenami na surovinových burzách a v neposlední řadě rozvaha o dopadu těžby na životní prostředí, a to jak na moři, tak na pevnině. I tak lze ale podle „selského rozumu" jasně tvrdit, že i takovéto zásoby musí být na Zemi konečné.

Souhrnně lze konstatovat, že čím dříve lidé dojdou k poznání a pochopení průhledných procesů koloběhu uhlíku, tím snadnější bude změna lidského žití ke skromnému souladu s přírodou. I tak lze očekávat, že přechod od nadměrného blahobytu v některých částech světa k umírněné a šetrné spotřebě zdrojů přírody bude nepochybně strastiplný.

Biomasa jen pro energetiku?

Proces spalování biomasy – dřeva a trusu hospodářských zvířat – pro produkci tepla je starý jak lidstvo samo. S nástupem industriální éry a nárůstem světové populace vyžadující vyšší životní standard byla otázka přírodních uhlíkatých paliv vcelku opomíjena. Teprve při jejich masivním spalování v dopravě a při výrobě elektřiny a tepla došlo patrně k vyšší produkci oxidu uhličitého, než kolik je ho současně vázáno fotosyntézou v rostlinách. To postupně vedlo k přijetí opatření, aby byla jednak část paliv pro dopravu vyráběna z rostlinného materiálu (etanol pro benzin, metylester řepkového oleje pro naftu), jednak aby pro energetiku sloužila částečně biomasa (dřevné štěpky a pelety). Samozřejmě existuje možnost, jak z dřevní hmoty produkovat třeba uhlovodíky mnohastupňovými mechanickými, fyzikálními a chemickými operacemi: štěpkováním biomasy, jejím sušením, tepelnou úpravou (torrefikací), chlazením tuhého podílu, jeho mletím, zplyňováním, čištěním plynného produktu, konverzí podílu oxidu uhličitého vodní parou na oxid uhelnatý a konečně katalytickou Fischerovou–Tropschovou syntézou „biouhlovodíků". Jejich případné použití coby motorového paliva by pak vyžadovalo ještě řadu dalších separačních kroků, aby se tak dosáhlo požadovaného oktanového nebo cetanového čísla (pro benzin či naftu). Podobně by bylo možné syntetizovat i další „biochemikálie". Na rozdíl od přírodních mikrobiálních a fermentačních procesů, které probíhají spontánně, ovšem velice pomalu miliony let, nejsou dokonce umělé syntetické postupy ani moc selektivní.

Potenciál pro masivní energetické využívání biomasy je omezen především rychlostí fotosyntézy závislou na zeměpisné šířce, která umožňuje v našich podmínkách vypěstovat ročně asi 10–15 tun suché dřevní biomasy na hektaru půdy. Nižší energetický obsah ve srovnání s fosilními uhlíkatými surovinami pak přináší vyšší náklady na transport do místa spotřeby.

Současný vážný problém výroby biopaliv spočívá nepochybně především v tom, že k jejich produkci je nepostradatelné využívání orné půdy, kterou lidstvo od nepaměti obhospodařuje především pro produkci potravin a krmiv pro hospodářská

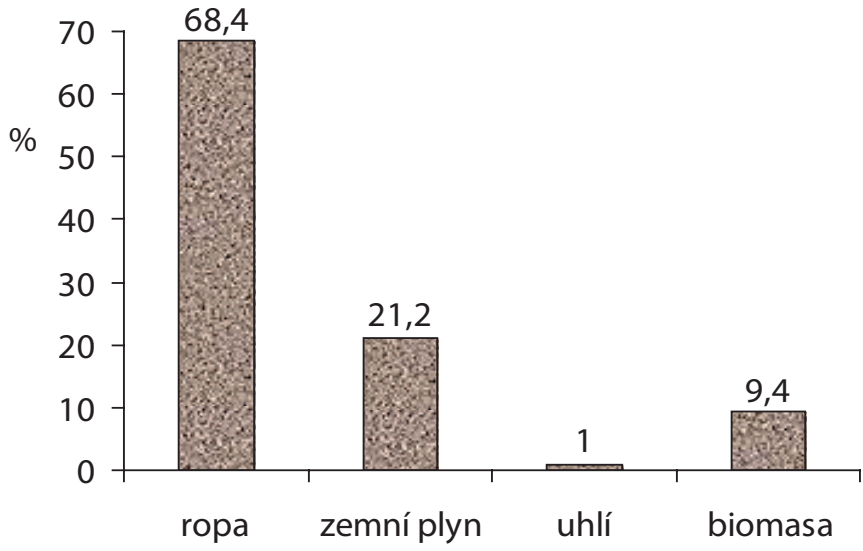
zvířata. Například v České republice se v roce 2013 využívala významná rozloha orné půdy (cca 25 %) k produkci řepky olejky, cukrovky a kukuřice, ze kterých dominantní výrobci ČR produkují bionaftu (Preol, a. s., Lovosice, 120 kt/rok MEŘO), resp. biolíh (TEREOS TTD Dobrovice – cukrovarnicko-lihovarská a. s., palivo E85 pro většinu benzinových pump v ČR). Budoucí konflikt mezi rostoucí pohodlností lidstva a hrozícím hladomorem můžeme již dnes pozorovat na proměně žloutnoucí krajiny. I v horských oblastech se již dnes místo brambor a pícnin masivně pěstuje řepka olejná, především však pro výrobu paliva do vznětových motorů (viz fotografii z Orlických hor na obr. 4).

Přidávání biosložek do motorových paliv je v současnosti motivováno snahou o šetření tenčících se zásob fosilních uhlíkatých zdrojů. Přitom omezit spotřebu motorových paliv lze také jednak hospodárným stylem jízdy motoristů (především omezováním a také důsledným dodržováním maximální povolené rychlosti) a dále konstrukčními úpravami motorů aut. Příkladem je tzv. „eco pedal“ montovaný v poslední době do japonských aut, který zabraňuje prudké akceleraci vozu (Hanika J. Festina lente. *Chem. listy*. 2008, 102, s. 955–956).

Uhlíkaté suroviny pro chemický průmysl EU

Není žádných pochyb o tom, že uhlík obsahující suroviny jsou pilířem chemické technologie v současné vývojové etapě lidstva. Je také zřejmé, že podíl jejich spotřeby na chemickou produkci stojí v protikladu k jejich energetickému užití. Podle údajů Evropského sdružení výrobců chemických produktů CEFIC (analogie národního Svazu chemického průmyslu ČR, který je členem CEFIC), se v EU uhlíkaté suroviny zpracovávají na chemické produkty v poměrech, které ukazuje diagram na obrázku 5.

Obr. 5 Uhlíkaté suroviny pro chemický průmysl EU



Z uvedených čísel zřetelně vyplývá pochmurná perspektiva pro všechny chemické technologie založené na fosilních uhlíkatých surovinách. Jejich nahrazení biomasou nebo zemědělskými produkty je zcela iluzorní, neboť jejich masivnější transformace na žádané chemické výrobky je nemožná kvůli konfliktu s produkcí potravin pro neustále rostoucí populaci obyvatel na Zemi.

Přesto lze v příštích desetiletích očekávat vynucený přechod části chemického průmyslu na biochemické technologie zaměřené na důkladnější využívání biologického odpadu všeho druhu, a to nikoliv jen na biopaliva různě pokročilých generací. Za tím účelem bylo v roce 2014 ustaveno Evropskou komisí konsorcium ze skupiny zástupců členských států EU, kteří v souladu s Rámcovým programem výzkumu a inovací Evropské unie HORIZON 2014–2020 pracují na společné iniciativě BBI (Bio-Based Industries). Cílem bude vytvoření biorafinerií pro využití biozdrojů a bioodpadů pro produkci tzv. biochemikálií, jejichž produkce by mohla v roce 2020 dosáhnout předpokládané úrovně 20 % vyráběných chemikálií. Současně dostupné biosuroviny pro chemický průmysl EU podle sdružení CEFIC představují následující objemy hlavních komodit (v milionech tun ročně):

- bio-etanol 1,59
- rostlinné oleje 1,57
- škrob a cukr 1,56
- přírodní kaučuk 1,24
- buničina 0,89
- živočišný tuk 0,50
- glycerol 0,47
- ostatní 0,74

Koloběh prvků v přírodě a lidstvo

Planetu Zemi, respektive její povrchovou „slupku“, si můžeme představit jako obrovský, vícefázový, vsádkový, biochemický reaktor vyhřívaný Sluncem. Jeho energie představuje ojedinělý zdroj, který bezpodmínečně zajišťuje náš pozemský život a současně přitom také kompenzuje tepelné ztráty Země způsobené nočním vyzařováním tepla z povrchu do okolního vesmíru. Je vcelku evidentní, že v tomto makroreaktoru dochází mezi jeho fázemi ke složitým přenosovým jevům – sdílení hmoty, tepla a hybnosti. Taková reagující soustava musí mít pouze omezené zdroje uhlíkatých surovin, které v současné době využíváme především pro produkci energie a rovněž pro průmyslové chemické procesy.

Je zajímavé, že na rozdíl od surovinového zajištění chemických výrob, jen ztenčující se zdroje pro výrobu paliv a energie budí značný zájem veřejnosti. Je to nepochybně vážné politické téma a dokonce úbytek těchto zdrojů „inspiruje“ představitele některých velkých států světa k provádění ekonomických tlaků finančními operacemi v bankovní sféře či vyhlašováním jakýchsi „sfér zájmů“.

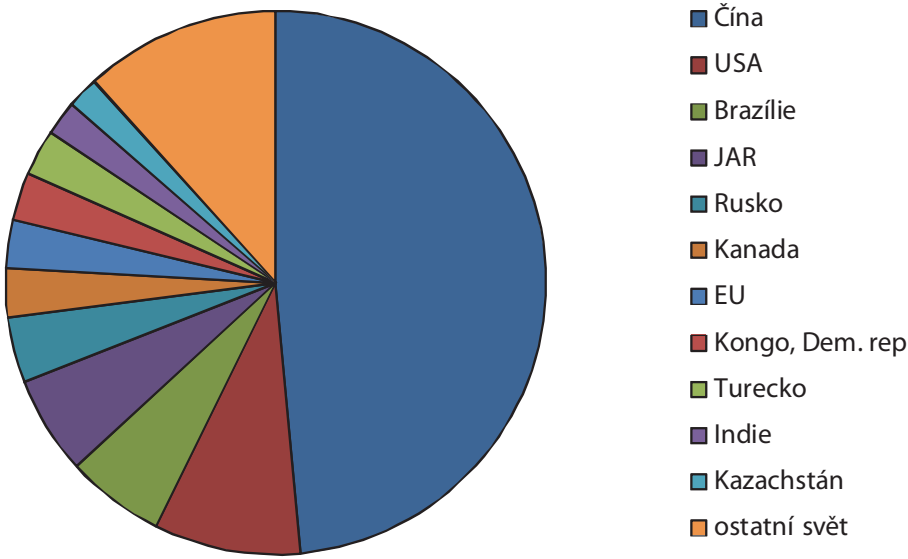
Je zarážející, že zájem veřejnosti a politiků o zmenšující se zásoby surovin pro chemické výroby je nesrovnatelně menší. Dokladem toho je třeba existence vládních Nezávislých energetických komisí u nás (NEK I a II), zatímco nějaká komise pro monitoring surovinové báze pro strategické chemické výroby (zajištění výroby hnojiv, zemědělských ochranných prostředků, léčiv apod.) neexistuje, přičemž státní autority spoléhají zřejmě jen na jakousi samovolnou tržní regulaci („neviditelnou ruku trhu“). Tento stav je důsledkem toho, že významné chemické výrobny jsou dnes převážně vlastněny nadnárodním kapitálem, jak je ostatně typické pro globalizovanou ekonomiku.

Základní fakta nezbytná pro pochopení funkce přírodních procesů se probírají již v předmětech základních škol, kde se děti na prvním stupni dozví něco o koloběhu vody v přírodě, ty starší pak jsou zpraveny o tom, jak se generuje oxid uhličitý při hoření paliv a jak se váže fotosyntézou do buněk rostlin. Položme si však otázku, jaký koloběh mezi složkami našeho životního prostředí se odehrává pro ostatní prvky periodického systému?

Například důležitý biogenní prvek fosfor je absolutně nezastupitelný ve fosfolipidech, které jsou jedním ze základních stavebních kamenů buněčných membrán živých organismů. Proto bývá hlavní složkou hnojiv, ovšem jeho zdrojem jsou přírodní fosfáty, které se vyskytují v postupně vyčerpávaných ložiscích v několika málo zemích. Spotřeba fosforu na hnojiva v zemích EU dosahuje 1,4 mil. tun ročně. Přitom většina fosforu končí v komunálních odpadech, splaškové kanalizaci a jen jeho malé množství se recykluje zpět do půdy jako hnůj a kompost. Proto EU v současné době financuje projekt PhosFarm, koordinovaný Fraunhofer Institut IGB Stuttgart, jehož cílem je s využitím enzymů recyklovat fosfor z různých odpadů do formy fosforečnanu hořečnatoamonného (http://www.phosfarm.eu).

Je jistě dobře, že se už po mnoho desetiletí sbírá staré železo, barevné kovy, rozbité sklo, papír, v posledních letech i polymerní plasty a naposled i vysloužilé elektronické součástky. Sběr těchto odpadních surovin je však jen dílčí, kromě toho k jejich třídění a přepracování je nutné vynaložit nejen energii, ale i velké úsilí, aby takový proces byl vlastně ekonomicky rentabilní. I v těchto případech jednoznačně platí, že si naše současná civilizace žije „nad poměry“. Důsledkem jsou pak významně se ztenčující zásoby různých prvků, které ještě čekají v zemské kůře na své vytěžení.

Obr. 6 Těžba surovin 20 kritických prvků pro EU (http://ec.europa.eu, data 2014)



Evropská komise ve své zprávě z roku 2014 identifikovala 20 kritických surovin, které jsou dostupné jen v izolovaných nalezištích světa. Podíl jejich těžby je znázorněn na obrázku 6.

Z uvedených dat je evidentní zcela dominantní postavení Číny v objemu světové těžby průmyslově významných a nedostatkových prvků.

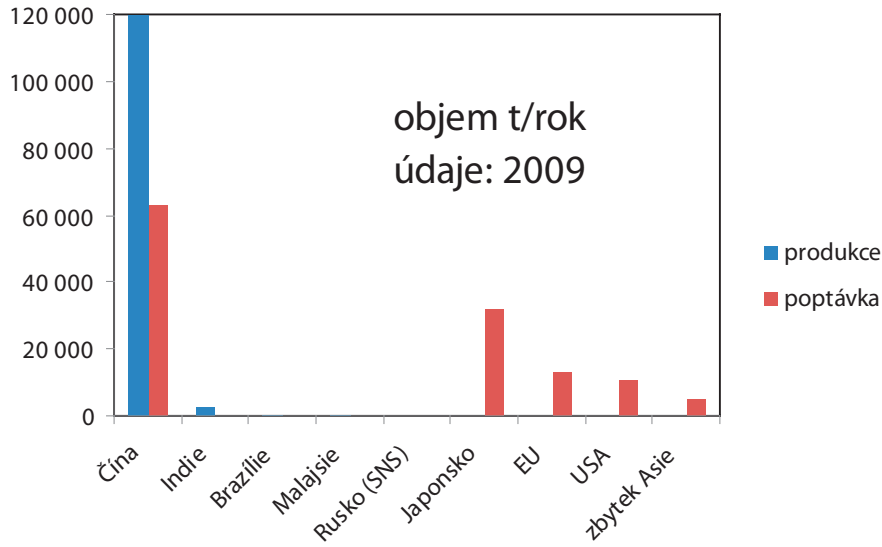
Zcela mimořádnou pozornost zaujímají na světovém trhu prvky vzácných zemin, které jsou nezastupitelné pro masivní výrobu třeba laserů nebo spotřební elektroniky, jako jsou počítače, CD přehrávače, mobilní telefony, úsporné zdroje světla atd. Jejich produkci z 97 % kontroluje Čína, která v tomto segmentu má vůbec dominantní postavení ve světě, jak ukazuje diagram s vyznačenou produkcí a spotřebou na obrázku 7.

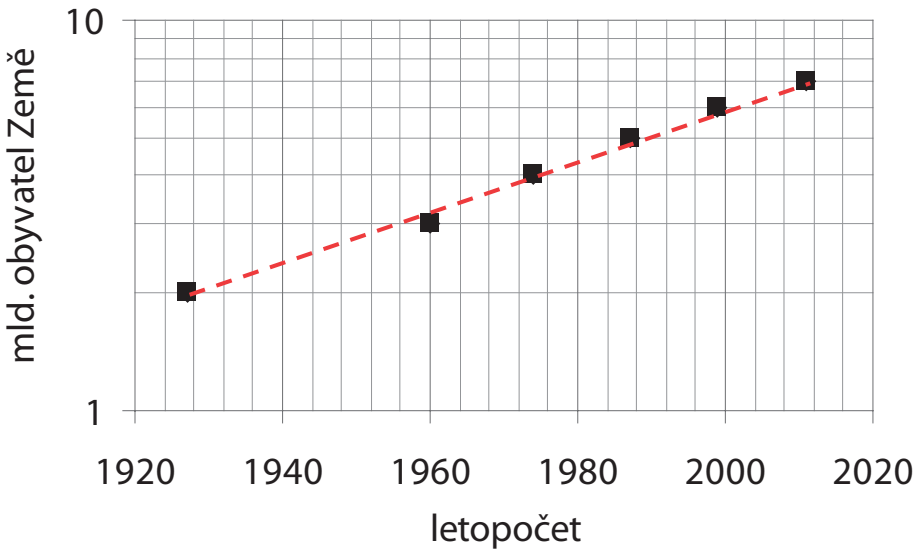
Je zřejmé, že postupné vyčerpávání ložisek minerálů důležitých prvků a jejich lokalizovaná distribuce v zemské kůře povede postupně k dramatickému nárůstu cen těchto surovin. Například index ceny prvků vzácných zemin se mezi lety 2004 a 2011 zvýšil o více než jeden řád!

Vyčerpávání přírodních zdrojů a ekonomická nerovnost světa

Lidé si nutně musí položit otázku, které výrobky budou muset oželet kvůli vyčerpání fosilních paliv a se kterými obnovitelnými zdroji a technologiemi založenými pouze na fotosyntéze a bioprocesech bude možné do budoucna počítat. Vývoj populace na Zemi měl exponenciální charakter až do ropné krize v roce 1974, která naznačila, že s rozmachem našeho málo skromného života není něco v pořádku.

Obr. 7 Naleziště a hlavní místa spotřeby prvků vzácných zemin
(podle Olivier Zajec. Velká válka vzácných zemin a nenápadná čínská chobotnice. *Le Monde diplomatique*. 2010).





Obr. 8 Exponenciální trend počtu obyvatel planety Země mezi roky 1927 a 2011; údaje OSN z roku 2010 (http://www.un.org)

Vývoj miliard obyvatel Země v závislosti na čase má stále i mezi lety 1927 až 2011 exponenciální charakter (viz přímku v semilogaritmických souřadnicích na obr. 8). Lidé si začali již ve druhé polovině minulého století uvědomovat tenčící se zásoby surovin a znečišťování složek životního prostředí. Některé velké státy s výrazně rostoucím trendem počtu obyvatel, především Čína, přijaly opatření k regulaci porodnosti. Také Indie před časem vypustila komunikační satelity propagující tyto snahy. Současně ale dále rostlo politické napětí mezi státy bohatými a chudými na fosilní suroviny, na pitnou vodu a další zdroje surovin, které už dokonce vyústilo v několik válečných výprav, nazývaných v poslední době eufemisticky „vojenskými misemi"…

Problém vývoje populace na Zemi poprvé formuloval Thomas Robert Malthus v roce 1798. Mnohem později, v roce 1968, Paul Ehrlich publikoval svoji knihu *The Population Bomb* a téměř současně došlo v USA (1970) ke kulminaci klasické těžby ropy a tedy k první ropné krizi. I když hladomory předpovídané přemnoženému lidstvu nenastaly a populační exploze se vlivem technologického rozvoje přibrzdila nejen v Evropě, ale i v Latinské Americe a částečně i v některých zemích Asie, přesto Ehrlichova prognóza iniciovala ustavení mezinárodního sdružení Římský klub. Ten zadal světově významným autoritám vypracování studie pro vytvoření modelu vývoje civilizace na Zemi. Prognózy podle tohoto modelu byly následně publikovány ve slavné knize manželů Meadowsových *Limits of Growth* (1972), vydané v 37 jazycích ve 12 milionech výtisků. V roce 1974 bylo u nás založeno Hnutí Brontosaurus (podle představy, že tento živočich vývoj své populace nepřežil, neboť přerostl své možnosti a podmínky přírody) a rovněž OSN vyhlásila rok 1974 rokem životního prostředí.

Populační exploze a její souvislosti

Dynamický růst lidské populace na Zemi a bezprecedentní a nerovnoměrný růst jejího blahobytu jsou hlavní příčinou zhoršování životního prostředí. Současně platí, že omezené zásoby surovin nezbytných pro zajištění pohodlného života populace a trvalý pokles rozlohy orné půdy pro produkci potravin nutně vyvolávají polarizaci nálad mezi lidmi, napětí mezi státy či dokonce civilizacemi, které nutně vedou k vážným konfliktům.

Lidská společenství, stejně jako všechny ostatní biologické systémy, jsou velice citlivé soustavy, v nichž v průběhu času probíhají složité procesy. Jejich podstata je podmíněna mnohačetnými interakcemi jednak mezi různými jedinci dané populace, jednak mezi populacemi samotnými. Pro jednoduchou analýzu chování lidské populace můžeme formulovat značně zjednodušený kinetický model postavený na několika přijatelných předpokladech, který umožnuje posoudit úskalí časového vývoje úrovně nálad ve společnosti. (Hanika J. Dynamický vývoj nálad ve společnosti. *Chem. prům.*, příloha Chemie a lidé. 4/1990).

K odvození modelu lze využít teorii chemické kinetiky, poznatky z popisu chování uzavřených biologických systémů (logistické rovnice pro modelování růstu populací živočichů) nebo matematické modely používané v ekologii. K těm se používá klasických představ Lotky a Volterry popisujících například chování společenství dravce (liška) a kořisti (králíka) v uzavřeném remízku. Analogicky můžeme modelovat šíření infekce při epidemiích (poměr zdravých a nemocných jedinců) nebo posuzovat problémy mezi bohatými a chudými občany v nějaké hranicemi vymezené zemi nebo dokonce v globálním měřítku Země.

Na nezbytnost řešení posledně jmenovaného jevu důrazně upozorňuje agentura Oxfam International, která uvádí, že v roce 2016 dosáhne majetek 1 % nejbohatší části celosvětové populace stejné hodnoty, jako činí majetek zbytku, tedy 99 % obyvatel planety! Možná, že tento apel prezentovaný na 45. World Economic Forum v Davosu (leden 2015) přichází již pozdě (viz http://www.oxfam.org).

Řešení takových modelů lze využít nejen k vysvětlení oscilačního chování některých systémů, ale mohou přispět rovněž k pochopení podstaty procesů, které v nich probíhají. V případě lidské populace na nich můžeme vysvětlit vážné sociální dopady na jednotlivce typu „jednou jsi dole, jednou nahoře“ například v problematice zaměstnanosti, diferenciaci životní úrovně apod. Velice závažné jsou pak jevy v měřítku celé společnosti, které determinují buď proces přeměny „kvantity v kvalitu“, nebo naopak přechod společnosti od stabilního, ustáleného, rovnovážného stavu přes periodické hospodářské nebo ekonomické cykly (deflace–inflace) až k aperiodickým, chaotickým fluktuacím, které lze klasifikovat jako deterministický chaos, při kterém je nemožné učinit jakoukoliv prognózu příštího vývoje. V takové situaci společnosti nebo státu dochází k revolucím, převratům, zhroucení státu, válkám.

Sociální model vývoje společnosti

V uzavřené lidské společnosti s definovanou hranicí (stát, fotbalový stadion, firma…) můžeme pro jednoduchost předpokládat existenci dvou skupin jedinců,

kteří jsou buď spokojení, nebo nespokojení se svojí situací. V takovém případě můžeme pozorovat následující jevy:

- spokojení jedinci vzbuzují závist ostatních členů společnosti
- nespokojení jedinci kolem sebe šíří nespokojenost tím, že své pocity sdělují ostatním
- nespokojení jedinci takovou společnost opouštějí tím více, jak nespokojenost narůstá, a to třeba emigrací, změnou zaměstnání, v rodině rozvodem či dokonce sebevraždou…

Při formulaci triviálního modelu můžeme předpokládat, že celkový počet jedinců v dané společnosti, třeba státu, je na počátku konstantní, neboli stejný počet občanů se za jednotku času (den) narodí, resp. zemře. V takovém případě můžeme zavést bezrozměrný podíl nespokojených jedinců k celkovému počtu, který můžeme považovat za jejich koncentraci n, nebo dokonce za aktivitu (tedy veličinu běžně používanou v chemické termodynamice). Tento podíl se může měnit v intervalu $n = \langle 0;1 \rangle$. V souladu s přijatými předpoklady pro časovou změnu nespokojenosti $\mathrm{d}n/\mathrm{d}t$ můžeme, na základě analogie s chemickou kinetikou, formulovat diferenciální rovnici v následujícím tvaru s kinetickou konstantou k (mírou nespokojenosti) a se zřejmou počáteční podmínkou, podle které je aktivita nespokojených jedinců na počátku rovna n_0:

$$\mathrm{d}n/\mathrm{d}t = k\, n\, (1 - n) - n \qquad\qquad t = 0 \;;\; n = n_0$$

Za předpokladu ideálního chování obou skupin (to znamená, že jejich aktivitní koeficienty jsou jednotkové) se můžeme dále zabývat jen jejich koncentracemi. Kinetická konstanta k pak představuje souhrn všech negativních jevů ve společnosti i těch, které na společnost působí z vnějšku. Druhý člen na pravé straně kinetické rovnice odpovídá třetímu předpokladu modelu. Přestože je uvedená kinetická rovnice integrovatelná analytickým postupem, můžeme pro názornost zvolit numerické řešení, které se hledá po pravidelných časových krocích. Takový postup velmi dobře odpovídá diskrétní povaze vývoje našeho reálného života, neboť události nevnímáme a informace o nich nedostáváme spojitě, nýbrž postupně v časových krocích. Tedy i naše spokojenost nebo nespokojenost se vyvíjí nespojitě (třeba v časovém intervalu den, měsíc, volební období…). Připusťme také, že hodnota míry nespokojenosti k se může v zásadě změnit skokem, a to po nějaké kladné či nepříjemné události ve společnosti.

Nejjednodušší metoda řešení této lineární diferenciální rovnice je založena na představě Eulera. Leonhard Paul Euler (1707–1783) byl průkopnický švýcarský matematik a fyzik. Je považován za nejlepšího matematika 18. století a možná i za jednoho z nejlepších matematiků vůbec. Podle jeho jednoduché metody se derivace nahradí diferencemi, čímž diferenciální rovnice přejde na diferenční rovnici. Pro jednotkový časový interval (třeba hodina, den…) se kinetická rovnice přemění na následující rekurentní formuli, podle které je možné určit, jaký bude stav v příštím okamžiku, známe-li současný stav systému. Ze znalosti podílu nespokojených jedinců v okamžiku i lze tedy snadno určit tento podíl v následujícím čase i+1:

$$n_{i+1} = k\, n_i\, (1 - n_i)$$

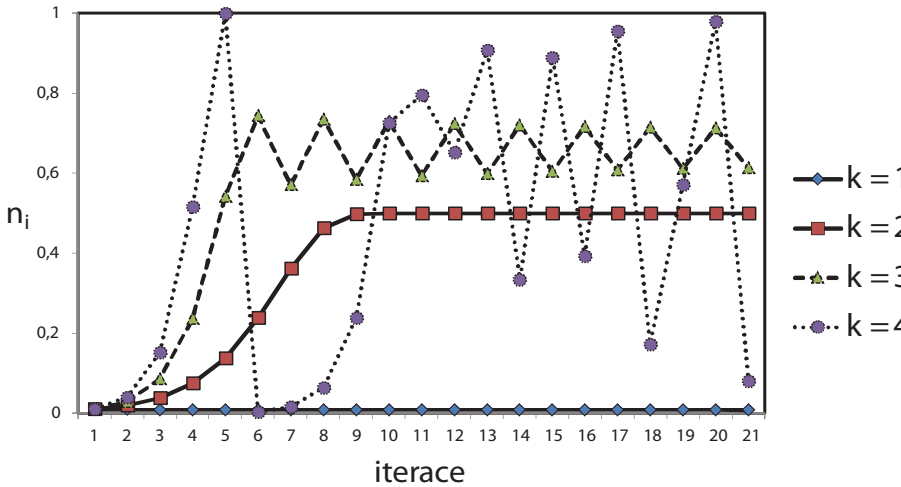
Pro počáteční podmínku pak platí:

$$i = 0 ; n = n_0$$

Výsledek výpočtu podle této rekurentní formule pro počáteční, velmi malou hodnotu podílu nespokojenců ve společnosti

$$n_0 = 0{,}01$$

je znázorněn na obrázku 9 pro několik hodnot míry nespokojenosti k.



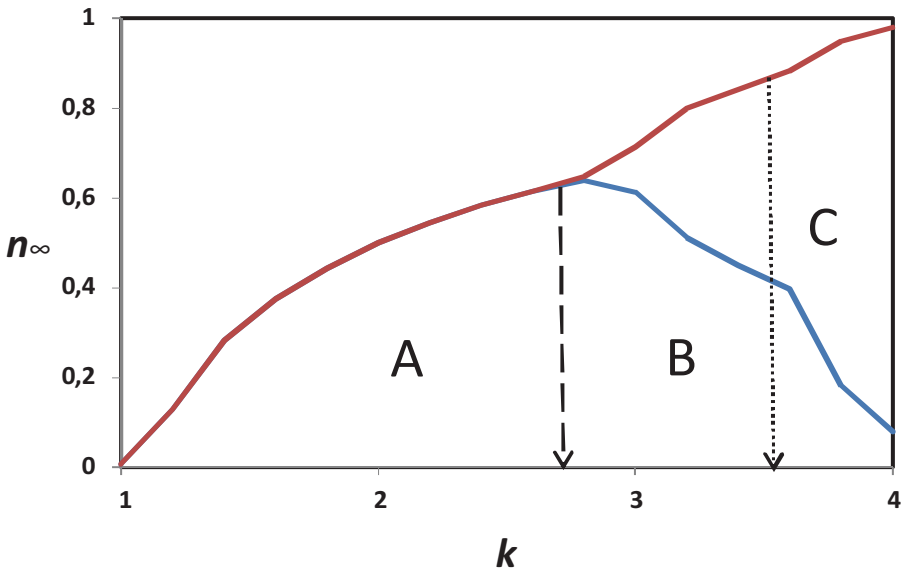
Obr. 9 Vliv míry nespokojenosti na časový vývoj podílu nespokojených jedinců
—— stabilita; ---- periodické oscilace; ····· chaos

Z obrázku je zřejmé, že zvýšením kinetické konstanty k, tedy míry nespokojenosti ve společnosti, dochází k postupnému nárůstu podílu nespokojených členů populace. Při numerickém řešení modelu se ukazuje, že pro relativně nízké hodnoty parametru $k < 2{,}8$ dosáhne podíl nespokojených jedinců hodnoty:

$$n_\infty = 1 - 1/k$$

Pro vyšší hodnoty míry nespokojenosti má však řešení periodický charakter, tedy nálada ve společnosti nedosáhne ani za dostatečně dlouhou dobu ustáleného stavu, pokud nedojde ke snížení hodnoty tohoto parametru – jinak řečeno, nevylepší-li se nějakým opatřením situace společnosti. Překročí-li však hodnota míry nespokojenosti mezní hodnotu, v popisované situaci $k > 3{,}6$ se časový vývoj podílu nespokojených jedinců společnosti stane chaotickým. V chaotickém stavu není pak možná jakákoliv prognóza dalšího vývoje. Je evidentní, že takový stav je v každém případě nežádoucí a pro další vývoj populace velmi nepředvídatelný, a tedy nebezpečný.

Z hlediska pochopení vlastností takovéto modelové společnosti je nepochybně zajímavé posoudit její asymptotické chování v dlouhodobé časové perspektivě, jak je zřejmé z obrázku 10, na kterém je znázorněna závislost podílu nespokojených jedinců ve společnosti za dostatečně dlouhou dobu na hodnotě míry nespokojenosti k.



Obr. 10 Limitní hodnota podílu nespokojených jedinců ve společnosti v závislosti na parametru modelu k; stav populace: A – ustálený; B – periodický; C – chaotický

Z obrázku je zřejmé, že při hodnotě parametru k = 2,8 dostoupí podíl nespokojenců mezní hodnoty 2/3, kdy stav společnosti je ještě stabilní. Další, byť malé zvýšení vlivu negativních vlivů na takovou společnost vede zprvu k jejímu oscilujícímu stavu a při dalším zvýšení nepřívětivých vlivů posléze v takové společnosti nastane chaos. K tomu lze poznamenat, že pokud se v průzkumech veřejného mínění v různých zemích konstatuje velká nespokojenost občanů s politickou či ekonomickou situací (obvykle nad 60 %), dochází pak k pádu vlády a k předčasným volbám (např. ČR v roce 2013). V situaci, kdy se nepopulární veřejní činitelé rozhodnou k nějakým dalším represivním opatřením, pak bohužel dochází k chaosu a občanským válkám, ze kterých mají profit jen a jen výrobci zbraní a vlastníci akcií zbrojařských firem. Totální katastrofou je pak stav, kdy se zbrojaři a generálové spojí a diktují vládě (varování Dwighta Eisenhowera z roku 1961, Petránek J. *Na co jsem si ještě vzpomněl*. Radioservis 2014).

Vedení každé společnosti musí včas rozpoznat, kdy podíl jejích nespokojených občanů začne nebezpečně narůstat, a na základě toho včas učinit taková rozhodnutí, která potlačí vliv negativních jevů na nálady ve společnosti a tím zamezí jejímu přechodu do chaotického stavu.

Příští problémy lidstva

V posledních dekádách jsme svědky snahy o zajištění dostatku **energie** pro rostoucí životní úroveň populace. Postupné vyčerpávání fosilních surovin ze zemské kůry vedlo k vývoji alternativních způsobů produkce energie. Určitou roli dosud sehrály aplikace fyzikálních principů a technických řešení pro využívání kinetické energie větru nebo hydrostatické energie vody v podobě větrných a vodních elektráren. Díky kosmickým technologiím se začaly rutinně používat rovněž solární panely. Produkce biopaliv je v rozporu s potřebou dostatečného množství čisté **vody** pro život a zajištěním dostatečné rozlohy orné půdy pro produkci **potravin** a současně pro pěstování nezbytných krmiv pro hospodářská zvířata.

Rostoucí celosvětová populace produkuje rostoucí množství odpadů s neblahým dopadem na kvalitu **životního prostředí**. Jeho poškozování má pochopitelně dopad na zdravotní kondici populace i na výnosy zemědělských plodin. Proces průniku nežádoucích látek do životního prostředí je velice analogický biosyntéze antibiotik v aerobním fermentoru.

Přírodní antibiotika jsou jedněmi z nejdůležitějších farmaceutických látek nezbytných k zajištění solidního **zdraví** lidstva a úspěšného boje s **epidemiemi**. Byla objevena víceméně náhodou na konci dvacátých let minulého století A. Flemingem. Antibiotika například inhibují syntézu buněčné stěny bakterií a přitom nepoškozují lidské ani zvířecí buňky. Zároveň jde o přírodní metabolické produkty bakterií, hub, řas, lišejníků a případně vyšších rostlin. Vyrábějí se většinou biotechnologickým způsobem ve velkých fermentorech s použitím produkčních mikroorganismů. Aerobní proces syntézy antibiotik probíhá v přítomnosti kyslíku v prostředí vodného roztoku živin (tzv. půdy) obsahujícího všechny biogenní prvky a také nezbytné stopové prvky. Hlavní složku živin v roztoku tvoří uhlíkaté složky – sacharidy či oligosacharidy –, dále jsou přítomny dusík, síra a fosfor jako amonné, síranové a fosforečnanové ionty, tedy tak zvané biogenní prvky. Proces je typický nárůstem biomasy a vlastních metabolitů, které právě mají žádoucí antibiotické vlastnosti. Podobně aerobní život a nárůst lidské **populace** je také postupně doprovázen znečišťováním životního prostředí látkami, které jsou nepřívětivé životu, jedovaté a jinak řečeno antibiotické povahy.

Velice vážné problémy vyvolává nerovnoměrný vývoj populace v globálním měřítku. Postupné vyčerpávání přírodních zdrojů a snižování rozlohy úrodné půdy vztažené na jednoho obyvatele planety Země vede v důsledku k nerovnoměrnému rozdělení **chudoby** a následně pak k různým konfliktům. **Terorismus** a **války** jsou pak determinovány vztahem spokojenosti a nespokojenosti mezi lidmi, jak bylo výše ukázáno zjednodušeným modelem. Doufejme, že k tlumení vášní mezi lidmi snad může napomoci **výchova** a **vzdělání** podporující větší skromnost, menší závist a jistý stupeň altruismu.

Chemická technologie pro život – proti hladu a nemocem

Jak bylo zmíněno výše, aerobní život (v atmosféře s obsahem kyslíku), který v naší civilizační éře prožíváme na Zemi, a jeho další pokračování stojí na elementech, které, jak bylo zmíněno v úvodu, velmi dávno identifikovali již alchymisté, tedy na vzduchu, vodě a půdě. Jsou to základní pilíře výživy a zdraví jak lidské populace,

tak i živočišné říše. Ne nadarmo se ke skupinám věd o živé přírodě přirozeně řadí také chemické vědy, které tvoří jakousi základní páteř, a to jak pro výzkum, vývoj a aplikace analytických či diagnostických metodik, tak syntetických postupů pro humánní i veterinární léčiva, hygienických nebo profylaktických prostředků, ochranných prostředků či hnojiv pro pícniny a průmyslově zpracovávané plodiny… a tak bychom mohli vyjmenovávat velmi dlouho další příklady z oblasti produkce potravin. Jednoznačně samozřejmě platí, že vědy o živé přírodě poskytují komplexní nástroj k usilovnému boji lidstva proti hladu a nemocem.

Chemie a chemická technologie tvoří také spojovací článek s vědními disciplínami, které zkoumají neživou přírodu, bez jejíž existence by byl náš život rovněž nemožný. Horniny a fosilní suroviny lidstvo nepoužívá jen k zajištění svých energetických potřeb a pro výrobu rozličných materiálů, ale jsou nezastupitelným zdrojem biogenních i stopových prvků nezbytných pro život. Jen pro ilustraci můžeme zmínit například železo v krevním hemoglobinu či hořčík v zeleném chlorofylu, který je klíčový pro fotosyntézu umožňující transformaci slunečního záření na pro život nezbytnou rostlinnou biomasu.

Hloubavý čtenář, který dospěl až na toto místo, právem může rozšířit soubor výše položených kardinálních otázek:

- Jsme připraveni na okamžik, kdy budou vyčerpány základní fosilní zdroje (ropa, zemní plyn, uhlí i ropné písky nebo břidlice) nejen pro energetiku, ale i pro chemické procesy?
- Jaké jsou meze našich možností při hledání cest dalšího vývoje lidské populace?
- Jak pomohou recyklační procesy přírodních prvků lidstvu?
- Přežije lidstvo takový moment, nebo dojde ke kolapsu vývoje v přírodě a společnosti?
- Co bude potom?

Velmi často se ovšem za horizont úvah o budoucím vývoji lidstva považuje jen několik desetiletí – reálná délka života jedince – eventuálně staletí, pokud autor úvah myslí i na své nejbližší potomky – děti a vnoučata. Političtí reprezentanti, kteří svými rozhodnutími mohou budoucí vývoj společnosti ovlivnit, mají bohužel svůj časový horizont k přemýšlení omezen obvykle jenom délkou svého volebního mandátu, což je nepochybně velice nežádoucí.

Uvedeným tématem se zabývá řada publikací, např.:
Pokorný P., Bárta M. *Něco překrásného se končí: kolapsy v přírodě a společnosti*. Praha: Dokořán 2008; Ruddiman, W. F. *Pluhy, nemoci a ropa*. Praha: Academia 2011; Bárta M., Kovář M. *Kolaps a regenerace: cesty civilizací a kultur*. Praha: Academia 2011; Casti J. *Události X – Možné scénáře kolapsu dnešního složitého světa*. Praha: Management Press 2012; Cílek V., ed. *Tři svíce za budoucnost*. Praha: Novela Bohemica 2013.

V roce 2014 varovala také americká kosmická agentura NASA před kolapsem civilizace ve studii HANDY *Human and Nature Dynamics*. Dostupné z: http://nasawatch.com/archives/2014/03/its-the-end-of.html.

Za poskytnutí fotografií z historické expozice NTM děkujeme RNDr. Ivaně Lorencové.

Výchova vědeckých pracovníků v Ústavu chemických procesů AV ČR, v. v. i., probíhá v rámci společné akreditace pro postgraduální doktorské studium s řadou fakult českých vysokých škol. Doktorandi z tuzemska i ze zahraničí mají tak příležitost využít mimo odborných zkušeností školitelů také unikátní aparatury a špičkové přístrojové vybavení při práci na svých disertacích ve studijních oborech: Chemické inženýrství, Fyzikální chemie, Organická technologie, Organická chemie, Anorganická chemie, Biotechnologie, Chemie a technologie ochrany prostředí. Řada absolventů doktorandského studia také každoročně rozšiřuje počet mladých vědeckých pracovníků ústavu, kteří jsou zárukou udržení tradičně vysoké úrovně základního i aplikovaného výzkumu Ústavu chemických procesů AV ČR, v. v. i.

Mimořádný význam pro novou kapitolu v orientaci a zaměření Ústavu chemických procesů AV ČR, v. v. i. představuje jeho koordinační role při řízení Centra kompetence pro výzkum biorafinací BIORAF, podporovaného Technologickou agenturou ČR. Spoluřešiteli tohoto centra jsou další akademická pracoviště – Botanický ústav AV ČR a Vysoká škola chemickotechnologická Praha – a rovněž také výzkumné laboratoře průmyslových, resp. zemědělských partnerů – Agra, a. s., Rabbit a. s., Briklis, s. r. o. – a v neposlední řadě i realizační firma Ecofuel, s. r. o. Výzkum Centra BIORAF je soustředěn na vývoj nových biorafinačních procesů pro zpracování netradičních zemědělských rostlin, plodin a odpadů z potravinářského průmyslu či zemědělské výroby.

Návrat k přírodním zdrojům lidstva v oblasti nových technologií je nezbytnou inspirací pro výzkumný program Centra BIORAF, který je zaměřen na bioprospekci fytomasy, produkci biomasy na bázi řas pro biorafinaci, energetické využití a rafinaci biomasy vyšších rostlin, nové strategie pro přípravu biopolymerů, rafinaci biomasy živočišného původu a na chemickoinženýrské aspekty zpracování biomasy k získání cenných produktů.

Všechno nasvědčuje tomu, že jsme důsledně přeceňovali význam technologického důmyslu a podceňovali význam přírodního bohatství… Potřebujeme rozum, pokoru a skromnost, které jsme ztratili, když jsme spěchali předělat svět, a smysl pro meze a vědomí důležitosti bohatství Země.

Stewart L. Udall, 1980

V EDICI VĚDA KOLEM NÁS PŘIPRAVUJEME:

D. Procházková, M. Šimek: **Věda na jihu Čech**
Jiří Padevět: **Pochody a transporty smrti**
Markéta Pravdová: **Jak se mluví mezi živly**

DOSUD VYŠLO:

Pavel Peterka a kol.: **Vláknové lasery**
Magdalena Bendová: **Eduard Hála**
František Kaštánek: **Biorafinace**

Edice Věda kolem nás | Výzvy a otázky
Chemická technologie a lidské společenství | *Jiří Hanika*

Vydalo Středisko společných činností AV ČR, v. v. i., pro Ústav chemických procesů Akademie věd ČR, v. v. i., Rozvojová 1/135, 165 02 Praha 6 – Suchdol. Grafická úprava dle osnovy Jakuba Krče a sazba Serifa. Technická redaktorka Monika Chomiaková. Odpovědná redaktorka Petra Královcová. Vydání 1., 2015. Ediční číslo 11808. Tisk SERIFA®, s. r. o., Jinonická 80, 158 00 Praha 5.

Další svazky získáte na:
www.vedakolemnas.cz | www.academiaknihy.cz | www.eknihy.academia.cz