

NEUDRŽITELNÁ LEHKOST BYTÍ V GLOBÁLNÍM VSÁDKOVÉM BIOREAKTORU

JIŘÍ HANIKA

Ústav chemických procesů AV ČR v. v. i., Praha 6 - Suchbátka
hanika@icpf.cas.cz

Došlo 21.4.15, přijato 5.5.15.

Klíčová slova: globální bioreaktor, neudržitelný rozvoj, budoucnost lidstva

Úvahy k zamyšlení, navozené v tomto článku, jehož název parafrázuje zdařilý román Milana Kundery¹, se týkají úvah o budoucnosti lidské populace. Základním existenciálním pravidlem pro příští generace lidstva není udržitelný rozvoj, ale jen a pouze život v souladu s podmínkami, které nám skýtá sama příroda.

Jak je všeobecně známo, první výroba penicilinu v Evropě byla spuštěna po 2. světové válce v Roztokách u Prahy za přispění agentury OSN na pomoc 2. světovou válkou postiženým zemím. UNRRA dodala strojní zařízení a know-how do místa, kde jednak nebyla válečnými událostmi zničena nezbytná infrastruktura a na druhé straně zde byli velmi erudovaní biochemici a mikrobiologové. Podívejme se na tento biotechnologický proces z pohledu bilance živých mikroorganismů, surovin, výtěžnosti produktů, sdílení hybnosti a energie, neboli posuďme interakci biochemické reakce časově proměnné komunity živých organismů s přenosovými jevy, tak jak je obvyklé i v chemickém vícefázovém reaktoru bez přítomnosti života.

Růst biomasy ve vsádkovém aerobním fermentoru probíhá několika fázemi. Od předložení inokula, tedy rodičovských mikroorganismů, do sterilního roztoku, obsahujícího nezbytné živiny a při provzdušňování vzduchem s životadárným kyslíkem, nastává jakási *adaptační fáze*, označovaná jako lag fáze, kdy si organismy zvykají na nové podmínky – teplotu, pH, koncentraci živin včetně rozpuštěného kyslíku ve svém „životním prostředí“. Dále následuje *exponenciální fáze* jakéhosi živelného růstu ve zdánlivě neomezeném prostředí, i když samozřejmě vymezeného stěnami fermentoru. Výsledkem exponenciálního růstu kolonie mikroorganismů není jen postupný nárůst biomasy, ale rovněž kumulace odpadních metabolitů antibiotické povahy, nepřívětivých životu, kvůli kterým se například fermentační procesy provozují a vyrábějí se tak komponenty antibiotických léčiv, např. penicilin. Mikroorganismy si tak postupně „zaneřádí“ své životní prostředí při současném vyčerpávání nezbytných živin (pokud tyto nejsou do vsádkového fermentoru postupně přidávány). Systém tak následně přejde do *stacionární fáze*, ve které stejný počet mikroorganismů odumře, jako se buněčným

dělením narodí. Převládne-li hromadění antibiotických metabolitů a vyčerpávání zásob živin nad životadárným procesem nárůstu biomasy, přejde systém do *fáze odumírání* a posléze k zániku populace mikroorganismů.

Z pohledu reaktorového inženýrství představuje aerobní fermentor velmi složitý systém². Jeho vsádka musí být dokonale promíchávána, aby se zajistil nezbytný a dostatečně intenzivní přenos kyslíku z plynné fáze do suspenze biomasy či zpětné uvolňování vznikajícího oxidu uhličitého z fermentoru do odplynu, a to jak probubláváním, tak i rotujícími míchadly. Intenzita promíchávání je však přísně omezena, aby se střížnými silami v okolí míchadel či trysek pro přiváděný vzduch nerozrušily buněčné stěny mikroorganismů. Dostatečně dobré promíchávání vsádky také zajišťuje nutnou homogenitu suspenze biomasy a všech živin v reakční směsi. Jelikož aerobní fermentace je vlastně exotermický oxidační proces, je nezbytné vsádku fermentoru temperovat na optimální teplotu. Řízení teploty fermentačního procesu je poněkud složitě v tom, že produkce tepla se v čase mění. Při počáteční nízké koncentraci biomasy je třeba vsádku na optimální teplotu (30 až 35 °C) vyhřívat a po nahromadění biomasy během procesu je naopak nezbytné vsádku chladit.

Pokusme se v následující úvaze extrapolovat jevy probíhající při běžné aerobní fermentaci na populace živých organismů, obývajících dosud největší známý mnohasložkový, mnohafázový, vsádkový, nedokonale promíchávaný bioreaktor vyhřívaný sluneční energií, kterým je nepochybně planeta Země³. Toto zatím největší možné zvětšení měřítka systému s nepřeborným komplexem probíhající chemických a biochemických reakcí, ovlivněných složitým přenosem hmoty, tepla a hybnosti mezi jednotlivými fázemi jistě nelze popsat nějakým přiléhavým modelem, neboť to neumožňuje téměř nekonečné množství nejistých parametrů. Pokusme se pro jednodušnost zvolit metodiku prostého kvalitativního porovnání časových trendů vývoje života ve fermentoru a v globálním systému planety Země. V tomto případě se jedná rovněž o vsádkový bioreaktor, do kterého vsádka 92 prvků, které se vyskytují v přírodě, byla předložena někdy před 4,5 miliardami let (uvažované stáří planety Země) a jeho hranice tvoří sférické slupky 10 km nad a několik km pod povrch planety, kde se odehrávají rozhodující děje, které jsou nezbytné pro náš život. V těchto nepatrně tenkých slupkách v porovnání se středním poloměrem Země (6371 km) jsou více méně v nerovnoměrně distribuovaných ložiscích rozmístěny jak pro život nezbytné biogenní prvky (C, H, O, N, S, P), tak i ty další pro život nepostradatelné (K, Na, Cl, Fe, Ca, Mg, Zn) a rovněž mnohé další z těch, které lidstvo potřebuje k zajištění svého současného pohodlného života. Nedokonalé promíchávání živin, nezbytných pro pozemský život, je určené sdílením hmoty v uvedených slupkách, mezi

nimi a hlavně mezi mnoha plynnými, kapalnými a tuhými fázemi, ze kterých jsou tyto dvě slupky vytvořeny. Pro jednoduchost nemusíme na tomto místě uvažovat příspěvek vulkanické činnosti, která má dosti nahodilý charakter. Promíchávání prvků v „obyvatelné zóně“ Země tak značně závisí na koloběhu všech zmíněných prvků v přírodě, a to nejen pouze vody a uhlíku, jak se všeobecně předpokládá. Významná je pak i řízená recyklace všech dalších prvků, jejíž účinnost však nikdy nemůže být stoprocentní.

Naše Země je obrovský, globální bioreaktor, který je dosud víceméně solidně temperován Sluncem, jehož energetický tok vyhřívá přes den přivrácenou stranu naší planety, zatímco její odvrácená polovina podstatnou část získané energie v noci vyzařuje do okolního meziplanetárního prostoru. Vnitřní magmatické jádro Země pak tvoří přidavný zdroj energie, který má patrně na svědomí třeba exotermní postupný radioaktivní rozpad isotopů některých těžkých prvků, nebo jeho příčinou může být elektromagnetická indukce v roztaveném, vodivém zemském jádře, způsobená tokem nabitých částic, opouštějících povrch Slunce – tzv. „sluneční vítr“. Časově pravidelně modulovaný tok energie ze Slunce přispívá k vytváření proměnného teplotního pole na povrchu Země, jehož důsledkem je pak intenzivní promíchávání vzduchových mas větrem a povrchových vod prouděním oceánů, k jejichž promíchávání nutně rovněž přispívá svým gravitačním polem Měsíc, který tak způsobuje pravidelný příliv a odliv mořské vody u pevninského pobřeží.

Z krátkodobého hlediska se dá celkem tvrdit, že planeta Země má víceméně vyrovnanou energetickou bilanci, čímž je průměrná teplota Země vcelku ustálená. Ovšem na tomto místě čtenáře jistě napadne současná bouřlivá debata o skleníkovém efektu a postupném oteplování naší planety. Příčina tohoto jevu se často dává do souvislosti s lidskou činností. Tedy s rostoucí lidskou populací a jejími narůstajícími energetickými nároky (zatím masivně uspokojovanými spalováním fosilního uhlíku, obsaženého v ropě, zemním plynu a uhlí) dochází k tomu, že uhlíkové suroviny, které se v zemské kůře hromadily anaerobním tlením přesliček a jiné biomasy po dobu milionů let, současné generace spálí na oxid uhličitý během několika málo století. Budeme-li ovšem porovnávat život na Zemi s životem mikroorganismů ve fermentoru, jistě nás napadne mnoho analogií. V obou případech vedlejším produktem exotermického života v mikro i makro měřítku je oxid uhličitý a tak nás nemusí tolik překvapovat, že s rostoucí populací lidstva na Zemi může v atmosféře úměrně narůstat jeho koncentrace a tím rovněž jeho skleníkový efekt. Vliv postupného zvyšování teploty může být ještě zesílen tím, že rostoucí populace nutně zvýší spotřebu vody pro sebe i pro hospodářská zvířata a také k zavlažování orné půdy. Výsledkem pak bude nepředvídatelný deficit pitné i užitkové vody.

Zatímco vedlejším produktem při fermentaci jsou obvykle látky antibiotické povahy, užitečné jako farmaceuticky aktivní komponenty léčiv, v globálním měřítku Země jsou to závadné látky, zdravotně nepřívětivé pro lidskou populaci a další vyšší živočichy. Na tomto místě je

třeba zdůraznit, že růst populace na Zemi s sebou přináší více znečištěné životní prostředí a opatření k jeho snížení vyžadují pak zvýšení spotřeby energie i finančních nákladů. Z těchto srovnání jednoznačně vyplývá, že exponenciální rozvoj lidské populace za posledních 100 let na konečném životním prostoru Země nemůže být v žádném případě udržitelný kvůli rostoucímu znečištění i omezeným zdrojům biogenních prvků.

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 klíčovým pro fotosyntézu, jež umožňuje transformaci slunečního záření na pro život nezbytnou rostlinnou biomasu.

V zemské kůře se ovšem v omezené míře nachází řada surovin, které jsou již dnes považovány za kriticky nedostatkové. Obsahují následující prvky, které jsou potřebné pro ekonomiku Evropské unie, a zajišťující životní standard 21. století. Není ani překvapující, že jsou to vzácné zeminy, prvky skupiny platiny, dále pak bór, niob, indium, germanium, galium, beryllium či grafit. Ovšem, z hlediska produkce kvalitních materiálů je postupně vyčerpávání ložisek chromu, antimonu, manganu, wolframu a kobaltu také docela vážné. Avšak pro udržitelný život jsou nesmírně závažné tenčící se zásoby fluoru, hořčíku a především fosforu. Tento biogenní prvek je nezastupitelný v buněčných stěnách a fosfolipidech živých organismů, a proto je jednou z důležitých složek hnojiv. Omezené zásoby fosfátů se nacházejí jen v několika málo zemích a jen země EU spotřebují pro produkci hnojiv ročně 1,4 mil. tun fosforu. Jen malá část tohoto prvku se dosud vrací do půdy přes kompost a hnůj, přičemž většina ho skončí v odpadech a ve vodách. Je nadmíru jasné, že takovéto spontánní procesy v uzavřených soustavách, tedy i na planetě Zemi vedou k nárůstu entropie a tedy k neuspokojenosti či nepořádku, které jsou jistě pro život nepřívětivé.

Tenčící se zásoby fosforu v zemské kůře iniciovaly financování mezinárodního projektu „PhosPharm“⁴, řešeného v rámci 7. Rámcového programu EU, koordinovaného *Fraunhofer Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology IGB Stuttgart*. Cílem projektu je izolace fosforu z odpadů zemědělské výroby enzymatickým mineralizačním procesem a jeho přeměna na fosforečnan hořečnato-amonný, který lze v podobě hnojiva recyklovat zpět do půdy.

Život v našem globálním mnohasložkovém, mnoháfázovém bioreaktoru bude patrně v časovém horizontu příštích 100 let poznamenán následujícími očekávanými celosvětovými trendy s globálními důsledky:

- urychlená industrializace,
- rychlý nárůst lidstva,
- světová podvýživa,
- vytěžování surovinových rezerv,
- ničení životního prostředí.

Pokud vývojové trendy budou mít stále exponenciální

charakter, pak nelze vyloučit, že lidská populace dosáhne hranic svého růstu možná již v tomto století.

Problém vývoje populace na Zemi poprvé formuloval Thomas Robert Malthus v roce 1798 a o 170 let později v roce 1968 Paul Ehrlich publikoval svoji knihu „*The Population Bomb*“ a přitom téměř současně došlo v USA v roce 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 a uznávaným autoritám vypracování studie pro vytvoření modelu vývoje civilizace na Zemi, postaveném na řadě předpokladů a nastavitelných parametrů. Prognózy podle tohoto modelu byly následně publikovány ve slavné knize manželů Meadowsových a spol. *Meze růstu*, z roku 1972, vydané v 37 jazycích ve 12 milionech výtisků. V roce 1974 bylo u nás založeno „*Hnutí Brontosaurus*“ podle představy, že *tento živočich vývoj populace nepřezil, neboť přerostl své možnosti a podmínky přírody...* Současně v té době OSN vyhlásila rok 1974 rokem životního prostředí. Konfrontace globálního kolapsu s představou „trvale udržitelné budoucnosti“ popsali manželé Meadowsovi a J. Randers v následující knize⁵ „*Překročení mezi*“ z roku 1992, ve které porovnali původní prognózy podle modelu se skutečným vývojem za období 20 let.

Velice vážné problémy vyvolává nerovnoměrný vývoj populace v globálním měřítku. Postupné vyčerpávání přírodních zdrojů, snižování rozlohy úrodné půdy, vztažené na jednoho obyvatele, vede v důsledku k nerovnoměrnému rozdělení chudoby. Dynamický růst lidské populace na Zemi i bezprecedentní a nerovnoměrný růst jejího blahobytu je hlavní příčinou zhoršování životního prostředí. Současně platí, že omezené zásoby surovin, nezbytné pro zajištění pohodlného života populace a trvalý pokles rozlohy orné půdy pro produkci potravin nutně vyvolává polarizaci nálad mezi lidmi, bohatými a chudými státy, či dokonce mezi civilizacemi, která vede ke konfliktům, bohužel včetně těch ozbrojených. K tlumení vášni mezi lidmi může snad napomoci výchova a vzdělání podporující větší skromnost, menší závist a jistý stupeň altruismu.

Velmi často se za horizont úvah o budoucnosti dalšího vývoje považuje jen několik desetiletí – reálná délka života jedince – event. staletí, pokud autor úvah myslí i na své nejbližší potomky – děti a vnoučata. Političtí reprezentanti, kteří svými rozhodnutími mohou budoucí vývoj společnosti významně ovlivnit, mají bohužel svůj časový horizont k přemýšlení omezen snad jenom délkou svého volebního mandátu.

V poslední době jsou úvahy na téma případného neblahého vývoje naší civilizace předmětem řady úvah a publikací. Nedávno varovala také americká kosmická agentura NASA před kolapsem naší civilizace ve své studii HANDY – Human and Nature Dynamics⁶. Ovšem již v roce 1980 Stewart L. Udall formuloval tuto myšlenku⁷:

„*Vše 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.*“

Vrátíme-li se na začátek této poněkud pochmurné úvahy, můžeme si na závěr připomenout také jeden neradostný citát Milana Kundery:

„*Lidský čas se neotáčí v kruhu, ale běží po přímce vpřed. To je důvod, proč člověk nemůže být šťasten, neboť štěstí je touha po opakování.*“

LITERATURA

1. Kundera M.: *Nesnesitelná lehkost bytí*. Sixty Eight Publishers, Toronto 1985.
2. Hanika J.: *Farmaceutické inženýrství*. Nakladatelství VŠCHT Praha, 2013.
3. Hanika J.: *Chemická technologie a lidské společnosti*, Edice Věda kolem nás, sv. 22, Academia Praha, 2015.
4. Info viz: <http://www.phosfarm.eu/> 7th FP EU, grant No. 605771; staženo 20.3.2014.
5. Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J.: *Překročení mezi*, (překlad), Argo, 1995.
6. <http://nasawatch.com/archives/2014/03/its-the-end-of.html>; staženo 20.3.2014.
7. Udall S. L. in Catton W. R. jr.: *Overshoot: The Ecological Basis of Revolutionary Change*, (převzato z odkazu⁵, str. 183). Urbana: University of Illinois Press, 1980.

Literatura k dalšímu čtení a přemýšlení:

Pokorný P., Bárta M.: *Něco překrásného se končí; kolapsy v přírodě a společnosti*, Dokořán 2008.

Rudinger: *Pluhy, nemoci a ropa*, Academia, Praha 2009.

Bárta M., Kovář M.: *Kolaps a regenerace: cesty civilizací a kultur*, Academia, 2011.

Casti J.: *Události X – Možné scénáře kolapsu dnešního složitého světa*, Management Press, Praha 2012.

J. Hanika: *Chemie na konci světa, Tři svíce za budoucnost*, (V. Cílek, ed.), str. 44–54. Novela Bohemica, Praha 2012.

J. Hanika (*Institute of Chemical Process Fundamentals, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague*): **The Unsustainable Lightness of Being in the Global Batch Bioreactor**

Thoughts for consideration induced by the title paraphrasing the world-wide known novel by M. Kundera “*The Unbearable Lightness of Being*” relating to the considerations of the future of human population. The basic existential rule for future generations of mankind is not sustainable development but, rather, a life in accordance with the conditions given to us by Mother Nature.