

Vojtěch Straka

Ekonomie a entropie: konfrontace udržitelnosti s fenoménem entropie na příkladu diskuse o nahraditelnosti přírodních zdrojů

Diplomní práce, Fakulta sociálních studií MU, Brno, leden 2007

## Posudek oponenta

Autor v diplomní práci přehledně rekapituluje zavedení pojmu entropie ve fenomenologické termodynamice, statistické mechanice a pak použití téhož slova v dalších disciplínách až po ekonomii. Je zřejmé, že se v používání pojmu entropie v pracích ekonomů dobře zorientoval. Závěry, které ze svého studia učinil, se jeví být oprávněné a jeho kritika správná: stručně shrnuto, pojem entropie není pro ekonomii užitečný a zdánlivé fyzikální analogie jsou většinou jen zavádějící. Rozhodně tehdy, pokud se píše o příliš velkém nárůstu entropie (vcelku nijak definované) vlivem lidské činnosti jako o nějaké hrozbě pro budoucnost.

Na druhé straně, on jeden takový osudný nárůst probíhá, ten ale autor *nezmiňuje*. Jde o zvyšování teploty povrchu Země v důsledku obohacení ovzduší o produkty oxidace fosilních paliv, tedy o globální oteplování. I když obvyklými jeho měřítky jsou průměrná přízemní teplota nebo (měřený) nárůst teploty a tedy i energie (či konkrétněji entalpie) oceánů, lze je aspoň zhruba vyjádřit i pomocí vzrůstu entropie (jako teplo dodané do oceánů dělené jejich absolutní teplotou; je ostatně škoda, že toto jediné snadno srozumitelné vyjádření změny entropie jako podílu tepla a teploty, které se jistě vyučuje i na středních školách, autor *nezmiňuje*). Mluvit o teplotě, energii či teple je ovšem jednodušší, přesnější a nematoucí. Co se změnilo, je totiž tepelná bilance Země: sálání do vesmíru je nyní menší než pohlcování záření ze Slunce. Entropicky vzato je změna méně nápadná: přítok entropie ze Slunce je stále zhruba dvacetkrát menší než odtok entropie ze Země (to proto, že Země vyzařuje jako těleso zhruba dvacetkrát nižší teploty). Autor ostatně opomíjí oxid uhličitý jako nejzávažnější odpad i na str. 53, když mluví o spalování uhlí (*zmiňuje* jen popel, a to jako možné hnojivo; popílek i popel se tak ale užívá jen zřídka, vzhledem ke zpravidla příliš velké toxicitě).

Důvod, proč někdo zkouší používat entropii pro posuzování vzácnosti minerálních zdrojů, lze pochopit. Systému zásoba fosilního paliva (třeba jedna povrchová sloj uhlí) – zemská atmosféra by dokonce šlo nějakou konkrétní entropii připsat: je zřejmé, že přechod z takového metastabilního stavu do stavu stabilního (např. zapálením sloje a jejím vyhořením, tj. oxidací paliva vzdušným kyslíkem, stejně pak při alternativě, např. postupném spalování onoho uhlí v elektrárně) je charakterizován růstem entropie. To ovšem platí pro všechny samovolně probíhající procesy, zahrnou-li se všechny jejich vstupy a výstupy. Entropie horniny s rudnou žílou je též poněkud nižší než entropie horniny s týmž obsahem prvků, ale rovnoměrně rozptýlených. Rozptýlením (či u paliv oxidací) přírodních zdrojů, které lze chápat jako (pro nás výhodné) koncentrace materiálů, entropie vhodně stanovených systémů roste. Kvantitativní vyjádření je ale obtížné a navíc bezcenné. To, že koncentrované zdroje jsou výhodné a často i vzácné v běžném smyslu slova, je všeobecně známo už tisíce let.

Autor v závěru (str. 68) *zmiňuje* text Petera A. Corninga *Thermoeconomics: beyond the Second law*; je možná škoda, že *nezmínil* na jeho doporučení, aby pozornost byla

věnována *energii* místo entropii. O energii koneckonců vždy jde, i v případě nepalivových minerálních zdrojů – kolik energie je potřeba vložit do získání užitečného materiálu ze zdroje výhodného a ze zdroje méně koncentrovaného či jinak hůře dostupného? Žádný z prvků na Zemi nemůže „dojít“, jen se časem bude v čisté podobě získávat obtížněji. Autor uvádí nové informace jako cestu k tomu, že se získávání usnadní, nezmiňuje ale vždy existující limity fyzikální (na rozštěpení molekuly oxidu uhličitého na uhlík a kyslík pro získání nového paliva bude potřeba vždy dodat stejně energie...). Bez valné diskuse, nicméně velmi správně uvádí také, že nové informace mohou zajistit velké snížení potřeby daného zdroje (tam fyzikální omezení stěží existují, kromě tepelné přípravy pokrmů).

Ohledně energie autor poněkud tápe, což prozrazuje na předchozí str. 67, když spekuluje o energetickém využití žuly či písku. Je pravda, že začátkem dvacátého století lidstvo znalo jen elektromagnetickou a gravitační interakci (a ne atomová jádra, natož nukleony a interakce mezi nimi), a že nápad čerpat energii z jader těžkých prvků se objevil až s rozvojem kvantové mechaniky koncem třicátých let (viz [http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear\\_chain\\_reaction\#History](http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_chain_reaction\#History)). Na druhé straně je potřeba říci, že za posledních sedmdesát let se již žádný další nápad, jakou změnu konfigurační energie soustav částic využít coby zdroj tepla, neobjevil, ač se fyzikou zabývá stále více lidí. I laik by tedy mohl soudit, že dnešní věda už strukturu hmoty kolem nás dobře rozumí. A že žulou nezatopíme, ani chemicky neproměníme olovo ve zlato. U lidí, kteří takové „předsudky“ nemají, je asi na místě pochybovat i o jejich kvalitaci v jiných oborech.

Spekulaci o písku se podobá spekulace, že „velká část našeho mozku zůstává zřejmě dosud nevyužita a její aktivizace možná nemusí být zas tak velkým evolučním problémem...“ na téže straně dole. V obou případech autor neuvádí odkazy. Je možné, že stránku napsal coby pohádkovou nadsázku, na druhé straně může být stránka i náznakem, na co mohou někteří ekonomové tiše spoléhat.

Zájemcům o problematiku lze kromě hesel na Wikipedii (i tu lze vědecky citovat, když se doplní okamžik existence textu) doporučit text Franka L. Lamberta *Entropy Is Simple...If We Avoid The Briar Patches!* na adrese <http://www.entropysimple.com/>. Ten také naznačuje, kudy se název entropie dostal dál, do oblastí, kde páchá více škod než užitku:

“it would be amusing to name a very important new mathematical function communication ‘entropy’ because ‘no one knows what [thermodynamic] entropy really is, so in a debate you will always have the advantage’. (That quote is of John von Neumann speaking to Claude Shannon (Sci. Am. 1971 , 225 , 180).”

Práce je technicky i po stránce jazyka velmi dobře napsaná, našel jsem v ní jen hrstku překlepů. Na str. 18 má být „statistická“, na str. 23 má být „za jednotku času“, str. 28 v prvním odstavci nemá být čárka před „než“ a chybí *měrou*, dál je rozporný rok u citace *Brillouin* (v seznamu je o dva menší). 32: způsobenými, 58: na obr. 14, 68: našly.

Veřejná dostupnost práce v hypertextové podobě, za níž se přimlouvám (snad v mírně upravené podobě, nebude-li autor trvat na pohádkové str. 67) by pro českou veřejnost byla užitečná. Práci doporučuji hodnotit stupněm dobře.

RNDr. Jan Hollan,  
v Brně 28. ledna 2007