

Teorie chaosu a chování otevřených systémů

Stanislav Heczko

Teorie chaosu nás učí, že izolované systémy (tj. systémy, o nichž víme, že u nich nedochází k žádné výměně energie s okolím) se vyvíjejí zpravidla směrem k chaosu, k nepořádku (viz např. Prigogine, Stengersova, 2001, str. 129). Jejich budoucnost se vyvíjí pouze směrem nárůstu entropie, k jejímu maximu. Termodynamické rovnováže zde tedy odpovídají stavy s maximální entropií, s maximem ztrát energie uvnitř systému. Nárůst hodnoty entropie odpovídá samovolnému izolovaného systému, stává se "indikátorem" jeho vývoje", ukazatelem, "šipkou času". Čas zde ovšem znamená znehodnocení a smrt, zapomínání počátečních podmínek, růst stejnorodosti a vývoj směrem k nepořádku.

Otevřené systémy (tj. systémy s výměnou energie, hmoty a informace s okolím) se však vyvíjejí směrem k vyšší a vyšší složitosti, směrem od jednoduchého k složitému, od nerozlišených k rozlišeným strukturám, od struktur méně uspořádaných ke strukturám "lépe" uspořádaným". **A s růstem složitosti systémů význam šipky času a rytmů vývoje narůstá.** Určitá minimální složitost v daném systému je podmínkou jeho vnitřní nevratnosti (jednostrannosti dějů uvnitř systému), která pak vyvolává jeho nahodilost a nestálost (nestabilitu). A tato nestabilita se může stát zdrojem nové uspořádanosti a nového řádu. Nestabilita s ním plynoucí systémová nerovnováha tedy mohou vytvářet "řád z chaosu" (**Ordo ab Chaos**). Potřebná nestabilita je ovšem nutně spojena s růstem fluktuací¹⁾, kterým je systém vystaven.

Z pohledu teorie chaosu každý složitý systém obsahuje totiž podsystemy, které neustále kolísají čili fluktuují. **Systém v oblasti blízko rovnovážného stavu je však vůči fluktuacím "odolný"**. Fluktuace sice mohou systém posunout pryč od jeho stacionárního stavu, avšak dochází k potlačení fluktuací. Chování systému je tak předvídatelné, směřující k dosažení stacionárního stavu s minimem změny entropie, slučitelným s omezeními systému. Takový systém předává entropii "vnějšímu světu", svému okolí. Proto bez ohledu na počáteční podmínky systém dosáhne stavu určeného konečnými podmínkami. Systém "blízko rovnováhy" se tak chová "opakujícím způsobem", čili cyklicky. Po malém vychýlení se systém vrací na svou dráhu a jeho atraktorem²⁾ je limitní (mezní) cyklus, značící chování směřující ke stacionárnímu stavu či chování neustále se opakující.

V silně nerovnovážných stavech ovšem určité fluktuace jsou místo potlačení zesíleny a mohou zachvátit celý systém a přinutit ho k zcela novému chování. Spolupůsobení systému s vnějším světem za nerovnovážných podmínek se pak může stát počátkem utváření zcela nových stavů a struktur- tzv. **disipativních struktur** (jde o struktury, které ke svému udržení potřebují více energie ve srovnání s jednoduššími strukturami, které nahrazují; jakmile ustane dodávka energie, přestanou existovat, zkrátka se rozplynou čili disipují). Malé fluktuace tak mohou podnítit zcela nový vývoj, který změní celkové chování makroskopického systému.

Pokud se totiž systém vzdaluje od rovnováhy, v určitém okamžiku narazí na meze své stability a dosáhne tzv. **bifurkačního (čili větvičního) bodu**- systém pak může dosáhnout dvou či více stacionárních stavů, což vyvolá známý jev **hystereze** (jde o jev, kdy stav, kterého systém dosáhne, závisí od předchozího vývoje systému, tedy od jeho minulosti). Prvotní rozdělení (primární bifurkace) zavede jediný typický čas (periodu mezního cyklu) nebo jedinou charakteristickou délku. Při dalším vzdalování od rovnováhy se zvyšuje počet oscilačních frekvencí, "skládání" frekvencí posléze umožní vznik velkých fluktuací a systém se ocitá v oblasti, která bývá označována za "chaotickou". Systém se tak vyznačuje **posloupností (kaskádou) bifurkací**, což vytváří typický

průběh jeho chování, začínající jednoduchým periodickým chováním a přecházející ve složité aperiodické chování, ke kterému dochází při skládání period do nekonečna (ad infinitum). Systém tedy nejprve osciluje mezi dvěma různými stavy (perioda 2), pak rozdělení (bifurkace) přicházejí častěji, dochází ke **zdvojování period** (vytvoří se periody 4, 8, 16 atd.) až nakonec se systém stává chaotickým, neobsahující žádné pravidelné cykly (blíže viz Gleick, 1996, str. 72-76). Jeho chování lze pak geometricky znázorňovat tzv. podivný atraktor, který může mít nejrůznější tvar (např. tvar stuhy, zavinuté do věnečku se záhybem či tvar vejčité křivky).

Kdykoliv systém dosáhne bifurkačního bodu, deterministický popis selhává. Rozvětvení v bifurkačním bodě je náhodný děj stejně jako házení mincí. Dochází i k **porušení zákona velkých čísel**³⁾ – fluktuace místo, aby byly korekcí středních, nyní tyto hodnoty pozměňují. Nestabilitu lze tak pokládat za výsledek fluktuace, která je v malé části systému a pak se rozšiřuje a vede k novému makroskopickému stavu. Způsob vznikání řádu z chaosu lze proto nazvat "**fluktuacemi k řádu**", vytvoření nové struktury totiž předchází růst fluktuací. Navíc systém v "nerovnovážném stavu" je velmi citlivý jak buzením jeho vnitřní činností, tak i fluktuacemi vytvářenými jeho okolím ("vnější fluktuace"). Tzv. vnější svět (tj. okolí, ve kterém fluktuace probíhají) má sice sklon tlumit fluktuace, ovšem **následkem kladných (pozitivních) zpětných vazeb** mohou být fluktuace posilovány (negativní zpětná vazba odchylku od normálu zmenšuje, pozitivní zpětná vazba odchylku od normálu zvětšuje: změna sama totiž umocňuje působení síly, která ji vyvolala). Kritická mez stability systému je pak určena soutěží integračních schopností systému (mezi typické vlastnosti disipativních struktur patří jejich soudržnost, kdy systém se chová jako jeden celek jakoby jeho každá část by byla "informovaná" o celkovém stavu systému a mechanismů zesilujících fluktuace).

Již zmíněné zpětné vazby (např. katalytické jevy) mající zpětný vliv na své "příčinu" tak představují jednou z důležitých vlastností nelineárních reakcí, charakteristických pro složité systémy ve stavu nerovnováhy (pro systém, nacházející se "blízko rovnovážného" stavu, jsou naopak charakteristické lineární vztahy, kde toky jsou lineárními funkcemi působících sil). **A v důsledku nelineárních vazeb se chování systému může stát chaotickým**, nikdy se pak neustálí v rovnoměrném tempu a nikdy se neopakuje předpověditelným způsobem. Výstupy lineárních operací se mění spojitě a hladce se změnou jejich vstupů a proto se lineární jevy dají velmi přesně modelovat. Nelineární procesy reagují naopak reagují na velmi malé vstupy nespojitým a nepředvídatelným způsobem.

Někdy se v této souvislosti hovoří o tzv. **motýlím efektu**, ten vede k tomu, že se chyby a nepřesnosti násobí, tvořící kaskádu turbulentních jevů (turbulence- z lat. neuspořádanost, nestálost, vířivost). Nestačí zde sečíst dílčí lokální chování- je potřebný holistický přístup, v němž se na systém pohlíží jako na celek. Nutno také opustit předpoklad lokálnosti (hlavní vliv mají události, k nimž došlo v bezprostředním okolí prostoru a času) a naopak je třeba **akceptovat nelokalitu, vzájemnou provázanost jevů**. Zkrátka: "pokud zvíří motýl vzduch v Pekingu, příští měsíc to může změnit systém bouří v New Yorku" (Gleick, 1996, str. 14). Ekonometrické modely se v důsledku motýlího efektu mnohdy projeví jako slepé vůči tomu, co přinese budoucnost, přesto lidé, kteří to měli vědět, se chovají tak, jako by jejím výsledkům plně věřili. A tak: "Předpovědi ekonomického růstu či nezaměstnanosti byly pak předkládány se samozřejmou přesností na dvě nebo tři desetinná místa. Vlády a finanční instituce za takové předpovědi platily a řídily se jimi, ať už z nutnosti nebo nedostatku něčeho lepšího." (viz Gleick, 1996, str. 25).

Chaotické systémy se dále vyznačují tím, že sebemenší nejistota v naší neznalosti stavu systému v jedné chvíli vede k naprosté ztrátě informace o jeho přesném stavu po velmi krátkém období. Není pak podstatné, jak přesně známe pravidla změn, protože nemůžeme dokonale rozpoznat

přítomný stav věcí. **Naše schopnost předvídání se rychle rozplývá do prázdna.** A kvantové aspekty⁴⁾ reality brání dosažení neomylné znalosti počátečních podmínek v principu, ne pouze v praxi (viz Barrow, 1999, str. 58). Ke kvantové revoluci ve fyzice vedené Nielsem Bohrem (1885-1962), Paulem Diracem (1902-1984) a Wernerem Heisenbergem (1901-1976) sice dochází již ve dvacátých letech 20. století, hlubší filozofické pochopení jejich důsledků však přichází mnohem později v době nastupující postmoderny (postmoderní doby) po roce 1979 (blíže viz Heczko, 2000).

Chaotické procesy v důsledku svých vlastností (nelinearity, nelokalitu, celistvosti) **žel nejsou algoritmicky stlačitelné** (každý řetězec symbolů, který může být zapsán ve zkrácené podobě se nazývá algoritmicky stlačitelný- blíže viz Barrow, 1999, str. 20-21). Pokud zkrácená reprezentace neexistuje, řetězec je náhodný v tom reálném smyslu, že neexistuje žádný rozpoznatelný řád, jenž bychom mohli použít k úspornějšímu zakódování jeho informačního procesu.

Ještě do nedávna byly nahodilost, chaos spojovány s nežádoucími aspekty skutečnosti, **dnes však na chaotické procesy pohlížíme jako něco běžného pro nejtypičtější formy změny.** Běžně se totiž setkáváme s vlivem chaotických procesů, ať již jde o vytékání vody z otvoru, ekonomiku státu, výkyvy finančních trhů, proměnu klimatu, vývoj ekosystémů či lidských společenství. I jednoduché systémy mohou začít chovat složitě a naopak složitě systémy někdy umožňují jednoduché chování. Ukazuje se zbytečnost izolovaného studia pouze části celku. A na neobvyklé fluktuace či oscilace (chvění, kmitání) již nelze reagovat tradičním způsobem- totiž tím, že je možné je ignorovat. Fluktuace mohou vést k chaosu a chaos paradoxně ke vzniku nových struktur (viz výše). Samotný **přechod systému do nového, kvalitativně odlišného stavu může** pak mít minimálně tři podoby (podle Thomova teorie katastrof z roku 1975): náhlé skokové řešení směrem nahoru či dolů (katastrofa), zpětně směřování k určitému bodu, ale jinému než původní, výchozí stav (hystereze) či proces postupných malých změn k novým stavům (divergence) – viz Ivanička, 1988, str. 78-79. Pohled na ekonomiku očima systémový přístup a teorie chaosu již v této kapitole naznačil některé **zajímavé souvislosti** (ohledně nezastupitelnosti holistického přístupu, komplexnosti ekonomiky, nemožnosti dosažení stavu tzv. pravé rovnováhy či možnosti přechodu do kvalitativně nového stavu), proto nyní se pokusíme blíže vymezit, jak vlastně chápat ekonomiku z tohoto hlediska.

Pohled na ekonomiku jako na velký otevřený systém

Pojem "ekonomika" může být spojován s určitým modelem hospodářství (tržní ekonomika, příkazová ekonomika, smíšená ekonomika, zvyková ekonomika), nebo s určitou vědní disciplínou, která zkoumá zvláštnosti hospodářské činnosti v určitém úseku či odvětví (ekonomika průmyslu, ekonomika dopravy, ekonomika služeb atd.). Zde je však ekonomika pojímána na obecné úrovni jako systém, ve kterém se realizuje hospodářský proces vymezený hranicemi určitého území – nejčastěji státu (např. česká ekonomika) či nějakého sdružení států (ekonomika Evropské unie). Na této úrovni **je ekonomika složitým systémem** a jako většina složitých systému (např. hudba, jazyk, právo, morálka) vzniká postupně na základě svobodného lidského jednání (viz Holman, 1999, str. 6-7). A vzhledem ke její velké komplexnosti (organizovanosti), vzniklé ovšem převážně spontánně, **lze ekonomiku zařadit mezi velké systémy.**

Obdobně jako ostatní společenské systémy **je ekonomika také otevřeným (kontinuálním) systémem**, které nemohou být odděleny od proudu vnější energie a hmoty, které nepřetržitě proměňují. Základem pro trvalou existenci lidské společnosti a života na Zemi vůbec je **produkce energie na Slunci** díky termonukleární syntéze hélia. Uvolněné fotony (kvanta slunečního světla) jednak ohřívají naši planetu, jednak umožňují u rostlin fotosyntézu z vody a oxidu uhličitého.

Vznikají tak energetické bohaté cukry a ostatní složité organické sloučeniny, které mohou být využívány živočichy, včetně člověka. Energie fotonů je dále pomocí fotosyntézy transformována na chemickou energii obsaženou v uhlíkatých redukovaných sloučeninách. Vzniklé cukry, tuky apod. jsou pak schopné tuto chemickou energii uplatnit při životních procesech v živém organismu. Děje se to například při buněčném dýchání (biologickém spalování cukru) v podobě oxidačního děje: výsledkem je uvolňování oxidu uhličitého, vody a tepelné energie (blíže viz Havránek 1995, str. 6-9). Využití sluneční energie rovněž podmiňuje vznik přírodních zdrojů (půdy, surovin, různých druhů energie) či fungování lidského organismu. A tak se přímo či nepřímo podíly na konstituování všech základních výrobních faktorů: půdy (a dalších přírodních zdrojů), práce (ta je vykonávána lidmi) i kapitálu (vzniká díky pracovní činnosti při využití půdy a ostatních přírodních zdrojů).

Z důvodu této závislosti od proudu vnější energie lze **ekonomiky řadit k disipativním strukturám**. Je tedy schopna jako jiné disipativní struktury snížit vlastní neuspořádanost (entropii), ovšem jen na úkor volné energie z prostředí, kterou posléze do tohoto prostředí odevzdává v degenerované formě (v praxi zejména ve formě tepelného záření). Na druhé straně díky schopnosti přeměny vnější energie **vykazuje ekonomika jako disipativní struktura nemalou soudržnost** (integrační schopnosti), je tedy schopna tzv. homeostázy (čili udržení základních parametrů vnitřního a vnějšího prostředí dlouhodobě na konstantní úrovni). Ekonomika je tedy schopna spontánní samoregulace a samoorganizace, proto **patří mezi kybernetické systémy** a jelikož se i ní projevuje určitá neostrost a mlhavost při určování samotných hranic ekonomického systému, ekonomika **náleží i mezi tzv. měkké systémy**, jejichž fungování je spojeno s větší nejistotou.

Homeostáza jako projev samoregulace a samoorganizace je ovšem koligativní vlastností života, je tedy charakteristická pro větší počet jedinců. Podobně i ekonomika existuje jen v rámci společenstev živých bytostí a ekonomický život je jev navýsost společenský. A dále vývoj **ekonomiky se může** obdobně jako evoluce života a prostředí vyznačovat **poměrně dlouhými obdobími homeostáze (stabilního vývoje)**, přerušovanými velkými změnami, tzv. **punktacemi** čili obdobími náhle, zrychlené evoluce (jevícími se mnohdy spíše jako krizová období).⁵¹

Ekonomika totiž jako každý velký otevřený systém je **vystavena** (vnitřním i vnějším) **fluktuacím**. V oblasti blízko rovnovážného stavu (kdy v zásadě platí lineární vztahy) je však takovýto systém vůči fluktuacím "odolný" a chová se takřka "opakujícím způsobem", čili **cyklicky**. V silně nerovnovážných stavech ovšem určité fluktuace jsou místo potlačení zesíleny a mohou zachvátit celý systém a přinutit ho k zcela novému chování. **V důsledku nelineárních vazeb se i chování ekonomického systému (ekonomiky) může stát chováním chaotickým**. Potom takové předpoklady ekonomické analýzy jako spojitost ekonomických veličin, lokálnost či linearita nutno nahradit kategoriemi diskretnosti (nespojivosti), nelokálnosti (vzájemné provázanosti), nelinearity, motýlího efektu či algoritmické nestlačitelnosti.

Při vzdalování ekonomického systému od rovnováhy by mělo docházet k růstu fluktuací a ke zdvojování period. Nakonec by se ekonomika stala chovala chaoticky, čili by nedocházelo k žádným pravidelným cyklům (chování ekonomiky by šlo geometricky znázornit pomocí podivného chaotického atraktoru). Jelikož by zde došlo ke změně původně deterministického systému v systém chaotický, vzniklý chaos bychom mohli nazvat **deterministickým chaosem** (blíže viz např. Ivanička, 1988, str. 34 či Stewart, 1996, str. 120). Jednalo by se tak pouze o zdánlivě náhodné chování, by bylo totiž výsledkem přesných pravidel, popsatelných pomocí diferenciálních rovnic. Zároveň však by bylo silně závislé na hodnotách vstupních, počátečních parametrů a ty nemusíme přesně znát či umět adekvátně analyticky vyjádřit, takže nepatrná událost by mohla mít velké následky (již nám známý tzv. motýlí efekt). **V důsledku toho můžeme sice úspěšně předpovídat**

krátkodobý vývoj ekonomiky, nedokážeme však správně odhadovat její dlouhodobý vývoj. Vlivem náhodné poruchy (např. z vnějšího prostředí) se ekonomika může stát nestabilní a krátce na to přeskóčit do kvalitativně nového stavu.

Z hlediska teorie chaosu je **ekonomika konečně společenský systém operující v podmínkách s omezeným počtem zdrojů** (viz Prigogine, Stengersová, 2001, str. 182). Proto pro ní jsou charakteristické samovolně se opakující pochody- periodické chování čili limitní (mezní) cyklu (kde dva póly stanoví limity pro cykly změn). Živá společenství ovšem neustále zavádějí nové způsoby využívání zdrojů, objevují nové zdroje či nové způsoby reprodukce a rozvoje. Každá společenská, ekologická a ekonomická rovnováha je pouze dočasná. Objev či zavedení nové technologie nebo výrobku (zkrátka každá inovace) narušuje společenskou, technologickou a ekonomickou rovnováhu. Inovace přeměňují prostředí, ve kterém se objevují a při svém rozšíření vytvářejí i podmínky pro svůj vlastní růst, svou "niku". Vznik poptávky a potřeba ji uspokojit se často jeví jako vzájemně provázané s výrobou zboží nebo technologie, které je uspokojuje. Odpovídající růst společenství, výroby či služeb je spojen silnou zpětnou vazbou a nelinearitami. Již pouhá souhra nahodilých činitelů (mimo vlastní model) je postačující k narušení souměrnosti. Velikost a hustota systému se tak mohou stát bifurkačním parametrem (činitelem vyvolávajícím bifurkaci) a často kvantitativní růst může vést ke kvalitativně novým volbách. Opět si zde můžeme připomenout, že např. současný **exponenciální růst** populace a světového průmyslu (znamajících jejich zdvojnásobení za každé stejné časové období) se dostává do rozporu s omezenými zdroji a poklesem schopnosti ekosystému absorbovat odpady lidské činnosti. V oblasti bifurkací ovšem nebývale narůstá význam individuální iniciativy, jednotlivce, nová myšlenka či nové chování mohou změnit celkový stav (viz Prigogine, Stengersová, 2001, str. 195).

Teorie chaosu i systémový přístup nám tedy přináší inspirativní tvrzení o ekonomice a jejím možném cyklickém či chaotickém chování. Systémový přístup totiž vede k představě ekonomiky jako živoucího systému složeného z lidí a společenských organizací v neustálé vzájemné interakci, které jsou obklopeny ekosystémy, na nichž závisí lidský život. Tyto ekosystémy jsou přitom autoorganizované a samoregulující soustavy, v nichž jsou zvířata, rostliny, mikroorganismy a anorganické látky propojeny složitou sítí vzájemných vazeb, jež spočívají ve výměně hmoty a energie **v nepřetržitých cyklech**. Hospodářská činnost (výroba) společnosti je pak založena na výměně látek mezi člověkem a přírodou, a to s cílem využít vzácné zdroje k výrobě užitečných komodit (viz Samuelson, Nordhaus, 1992, str. 5). Proto systémový pohled nám lépe umožňuje pochopit, proč **cirkularita a cykličnost patří mezi základní znaky každé ekonomiky**.

Poznámky:

1. *Fluktuace (lat.)- nahodilé kolísání hodnoty (např. fyzikální) veličiny kolem rovnovážné hodnoty. Používá se též ve významu kolísání, nestálosti, vlnění, srovnej Malý encyklopedický slovník A-Ž, 1972, str. 320 a Ivanička, 1988, str. 15. [zpět](#)*
2. *Atraktor (z ang. to attract čili přitahovat) je dráha, ke které jsou přitahovány trajektorie určitého pohybuujícího se systému- blíže viz Gleick, 1996, str.138-141. [zpět](#)*
3. *Zákon velkých čísel vychází z počtu pravděpodobnosti: konáme-li velký počet nezávislých pozorování nebo měření téže náhodné veličiny, ustaluje se průměrná velikost měřených hodnot kolem určité tzv. střední hodnoty- viz Malý encyklopedický slovník A-Ž, 1972, str. 1386. [zpět](#)*
4. *Konkrétně jde o objev duality vlastností světla i hmoty (mohou se chovat jako vlna, tak jako částice), a dále toho, že energie se nemění spojitě, ale diskrétně. Existence Planckovy konstanty h , spojující obě podoby, pak způsobuje, že polohy a hybnosti (rychlosti) nemohou být nezávislými proměnnými (na rozdíl od klasické mechaniky). Z toho následně plyne Heisenbergův vztah neurčitosti, kdy nemůžeme s naprostou přesností měřit současně polohu a hybnost. Kromě této nemožnosti je zavedena i nemožnost signálů šířících se rychlostí vyšší než rychlost světla- blíže viz Prigogine, Stengersová, 2001, str. 202-210. [zpět](#)*

5. *V principu to připomíná teorii přerušované rovnováhy (theory punctuated equilibrium), která říká, že v průběhu vývoje jsou dlouhá, víceméně rovnovážná období, kdy různé druhy života existují v rovnováze s prostředím. Přeruší ji až nějaké katastrofa. Důsledky katastrofy vyhubí obrovský počet druhů. V uprázdněném prostředí pak rychle vyvinou druhy nové. A tak náhodný zánik dinosaurů (způsobený dopadem komety) uvolnil podle této domněnky souš i vodu pro vývoj savců, do té doby okrajové formy života. Američtí vědci Nigel Eldredge a Stephen Jay Gould poprvé zveřejnili tuto teorii v roce 1972 - viz např. Koukolík, 1997, str. 74 a 96. [zpět](#)*
-

Literatura:

- Barrow, J. D. : Teorie všeho, Hledání nejvyššího vysvětlení, Edice Kolumbus, svazek 133, Mladá fronta, Praha 1999, ISBN 80-204-0602-6
- Capra, F. : Bod obratu, Věda, společnost a nová kultura, DharmaGaia a Maťa, Praha 2002, ISBN 80-85905-42-6, ISBN 80-7287-024
- Gleick, J. : Chaos, Vznik nové vědy, řada Nová věda, Ando Publishing, Brno 1996, ISBN 80-86047-04-0
- Havránek, M. : Entropie živých organismů (teorie otevřených systémů), Universum, č. 19/1995, ISSN 0862-8238
- Heczko, S. : Obraz světa v pojetí postmoderny - úvod do problematiky, Katedra makroekonomie, Vysoká škola ekonomická, Praha 2000
- Holman, R. : Ekonomie, Beckovy ekonomické učebnice, Nakladatelství C. H. Beck, Praha 1999, ISBN 80-7179-255-1
- Ivanička, K. : Synergetika a civilizácia, Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatury, Bratislava 1988
- Koukolík, F. : Mravenec a vesmír, O hvězdách, atomech, životě a vědcích, Vyšehrad, Praha 1997, ISBN 80-7021-182-2
- Malý encyklopedický slovník A-Ž, Academia, Praha 1972
- Prigogine, I., Stengersová, I. : Řád z chaosu, Nový dialog člověka s přírodou, Edice Kolumbus, svazek 158, Mladá fronta, Praha 2001, ISBN 80-204-0910-6
- Samuelson, P. A., Nordhaus W. D. : Ekonomie, Nakladatelství Svoboda, Praha 1992, dotisk prvního vydání, ISBN 80-205-0192
- Stewart. I. : Čísla přírody (neskutečná skutečnost matematické představivosti), edice Mistři věd, Archa, Bratislava 1996, ISBN 80-7115-119-X
-

Převzato z časopisu Marathon, č. 4/2003, květen 2003