

---

# GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

---

54

2002

4

---

*Ján Paulov\**

## KOMPLEXITA A GEOGRAFIA\*\*

**J. Paulov: Complexity and geography. Geografický časopis, 54, 2002, 4, 10 refs.**

The basic objective of this paper, originally intended to be given at the plenary session of the 13th Congress of the Slovak Geographical Society, held in September 2002, is to bring an introductory overview on the complexity as highly relevant concept of contemporary science and its relation to geography. Complexity is a fundamental attribute of our world. However, this attribute/concept is strongly related to the attribute/concept of self-organisation. Therefore the idea of self-organisation, its roots in the Prigogine theory of dissipative structures themselves, is shortly discussed. To show the relevance of self-organisation for geography an example, taken from the paper by Allen (1982), is given, which demonstrates how the settlement system can evolve into hierarchical structure.

**Key words:** complexity, self-organisation, dissipative structures

### ÚVOD

Jednou v geografii z najčastejšie diskutovaných tém, témou, ktorá sa ako červená niť tiahne takmer celými, najmä však novodobými dejinami geografie ako vedy, je téma „komplexity“ či „komplexnosti“. Komplexnosť či komplexita sa zvykne považovať za jeden z najimanentnejších metodologických znakov geografie. O jej význame pre geografiu existuje toho času už nespočetné množ-

---

\* Katedra regionálnej geografie, ochrany a plánovania krajiny PríF UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

\*\* Príspevok predstavuje upravenú verziu referátu, ktorý mal odznieť v pléne 13. Kongresu Slovenskej geografickej spoločnosti, konanom začiatkom septembra 2002 v Nitre. Z toho dôvodu si príspevok čiastočne zachováva povahu referátu, a to svojím obsahom a formou. Treba ho chápať iba ako stručný úvod do problematiky nastolenej jeho názvom.

stvo literatúry, z ktorej považujeme za potrebné na tomto mieste menovať dobre dostupné a významné monografie českého geografa M. Hampla (1971 a 1998).

Okrem mimoriadneho úsilia venovaného problému komplexity v geografii sa však už dlhšiu dobu paralelne rozvíja úsilie venované problému komplexity vo vede ako celku. Toto úsilie, v ktorom geografia môže nachádzať významnú metodologickú oporu, však doteraz zostávalo, aspoň v našej geografii, akoby stranou. Jedným z dôvodov môže byť jeho istá konceptuálna náročnosť, resp. zdanie istej odľožiteľnosti od geografie. Je práve zámerom tohto príspevku poukázať naň a poskytnúť o ňom aspoň základnú či úvodnú predstavu.

### KOMPLEXITA A JEJ CHÁPANIE

Čo je komplexita? Napriek tomu, že existuje istá intuitívna predstava o komplexite, priamu a jednoznačnú odpoveď na túto otázku sotva možno poskytnúť. To z toho dôvodu, že komplexita, podobne ako napr. „systém“, patrí medzi pojmy, ktoré sa „zdráhajú“ byť jednoznačne definované. Rozhodli sme sa preto priblížiť tento pojem prostredníctvom príkladu, ktorý je obsiahnutý v publikácii Nicolisa a Prigogina (1987). Spravidla sa pojem komplexity, aspoň pri jeho prvom priblížení, dáva do súvislosti s útvarmi, ktoré pozostávajú z veľkého množstva častí. Ak napr. pracujeme s istým objemovým množstvom plynu, stačí napr. 1 cm<sup>3</sup> na zistenie, že je tu obsiahnutých extrémne veľké množstvo častíc – molekúl. V 1 cm<sup>3</sup> je to až 10<sup>19</sup> molekúl. Vzniká teda otázka, či v tomto prípade môžeme hovoriť o komplexite. Uvedení autori dávajú na túto otázku zápornú odpoveď z toho dôvodu, že častice – molekuly tohto objemového útvaru, hoci je ich počet extrémne veľký, sa správajú chaoticky. Nepozorujeme tu žiadne usporiadanie a ak by sme predsa chceli hovoriť o komplexite vzhľadom na veľký počet častíc, potom by sme mohli hovoriť len o tzv. dezorganizovanej komplexite. Vezmime iný príklad, a to určité objemové množstvo vodnej pary. Aj tu sme v analogickej situácii ako v predchádzajúcom prípade. Vystavme však toto objemové množstvo pary istému podchladeniu – výsledok je, že sa nám objavia dendritové, jasne usporiadané útvary – snehové vločky. Na otázku, či v tomto prípade možno hovoriť o komplexite, dávajú uvedení autori jednoznačne kladnú odpoveď. Z tohto je zrejmé, že atribút dôležitý pre vymedzenie komplexity je usporiadanie, poriadok, organizácia. Ak sme hovorili, že môžeme zaviesť pojem „dezorganizovaná komplexita“, v tomto prípade by sme museli hovoriť o „organizovanej komplexite“. Vo všeobecnosti sa však autori prikláňajú k tomu, aby sme za komplexné útvary považovali tie, ktoré sa vyznačujú organizovanou komplexitou. Iní autori pridávajú ešte ďalšie atribúty, napr. veľké množstvo premenných, vysokú varietu (rozmanitosť), dôležitosť mierky, hierarchickú štruktúru atď. V tomto príspevku budeme chápať komplexitu v jasnej korelácii s organizáciou, resp. jej špecifickým prípadom, samoorganizáciou; z toho dôvodu je celý príspevok budovaný v takomto duchu.

Poznamenajme teraz, že mnoho vynikajúcich bádateľov z najrôznejších vedných odborov konštatuje, že náš svet je výsostne komplexný; komplexita je jedným z jeho najvýznamnejších atribútov, a preto musí byť jednou z priorit intenzívneho vedeckého bádania. Toto bádanie toho času dokonca pokročilo už tak ďaleko, že sa začína formovať teória komplexity (Byrne 1998). Poznamenajme však, že toto bádanie je v istom zmysle akýmsi voľným pokračovaním myšlienok, ktoré sa začali rozvíjať už na pôde všeobecnej teórie systémov a kybernetiky.

Spomedzi vedných odborov, ktoré vniesli nový zásadný vklad do bádania komplexity, ktoré urobili v tomto smere rozhodujúci prelom, treba na prvom mieste menovať fyziku. Toto tvrdenie sa môže zdať neadekvátne, pretože predmetom fyziky nie je prednostné bádanie komplexity. To sa však skôr vzťahuje na tradičnú newtonovskú fyziku (mechaniku); zásadný prelom tu urobila iná fyzikálna disciplína, a to termodynamika. Rozhodujúci objav termodynamiky, ktorý sa stal základom nového bádania komplexity, je objav tzv. disipatívnych štruktúr.

Disipatívne štruktúry vznikajú a objavujú sa v systémoch, ktoré sú ďaleko od stavu termodynamickej rovnováhy. V tejto súvislosti pripomínáme, že z termodynamickeho hľadiska možno systémy roztriediť do troch základných skupín (Buenstorf 2000), a to: 1. systémy, ktoré sú v stave termodynamickej rovnováhy – tieto sa vyznačujú maximom entropie, 2. systémy, ktoré sú blízko stavu termodynamickej rovnováhy – v týchto systémoch prevládajú lineárne vzťahy a vyznačujú sa minimom produkcie entropie a 3. systémy, ktoré sú ďaleko od stavu termodynamickej rovnováhy, kde začínajú prevládať nelineárne vzťahy a ktoré ku svojej existencii a fungovaniu potrebujú zo svojho okolia čerpať voľnú energiu (negatívnu entropiu), ktorú po využití odovzdávajú späť do svojho okolia, avšak už ako „opotrebovanú“, „degradovanú“ (pozitívnu entropiu). Ako vidieť, pri fungovaní týchto systémov dochádza k akémusi „mrhaniu“ či rozptylu pôvodne voľnej energie (schopnej konať prácu), k jej disipácii.

Tieto systémy, na rozdiel od predchádzajúcich dvoch skupín, však vykazujú aj osobitný druh správania, v ktorom zohráva úlohu tak determinizmus ako aj náhoda (náhodné fluktuácie). Kombinácia determinizmu a náhody dodáva týmto systémom osobitný status. Pri ich opise je potrebné uplatniť rovnako kvantitatívny ako aj kvalitatívny opis. Uvedené systémy sa môžu správať či rozvíjať tak, že sledujú buď len stacionárnu trajektóriu, alebo sa na ich rozvojevej trajektórii objavuje okrem stacionárnych úsekov aj akási „voľba“ ich ďalšieho rozvoja, možnosť akéhosi rozvetvenia (a to aj niekoľkonásobného) – bifurkácia, pri ktorom (ktorej) zohráva rozhodujúcu úlohu tak aktuálna náhoda (náhodná fluktuácia) ako aj sled (časový rad) predchádzajúcich udalostí (náhod), hlavne v počiatočnej fáze rozvojevej trajektórie. Bifurkácia môže viesť ku kvalitatívnej modifikácii existujúcej štruktúry, ku vzniku úplne novej, neočakávanej štruktúry. Bifurkačný bod je teda akýmsi zvratovým bodom na rozvojevej trajektórii systému. Je to bod, ktorý umožňuje systému tvoriť niečo nové, novú štruktúru. Keďže v tomto bode nie je možné stanoviť vopred, akú novú trajektóriu si systém vyberie, resp. aká nová štruktúra sa môže vytvoriť, nie je ich vývoj úplne predikovateľný, ale je istým spôsobom závislý od ich predchádzajúcej histórie. Preto sa takéto systémy v anglickej terminológii zvyknú nazývať ako „path dependent“. To je zásadný rozdiel oproti rýdzo deterministickým systémom, ktoré sú úplne predikovateľné, pretože v ich prípade stačí poznať začiatkové podmienky a zákony, ktoré určujú ich vývoj.

Pre systémy rozvíjajúce sa za situácie ďaleko od stavu termodynamickej rovnováhy sú typické, ako sme to už uviedli vyššie, tzv. nelinearity, nelineárne vzťahy, nelineárne interakcie. Nelinearita znamená, že nepatrný impulz sa môže rozvinúť do veľkých rozmerov a môže mať ďalekosiahle následky. Na základe toho sa usudzuje, že tu spolupôsobí pozitívna spätná väzba, ktorá vedie k zosilneniu pôvodného impulzu (napr. fluktuácie). Naopak, keď systém sleduje, aspoň istú dobu, stacionárnu rozvojevojú trajektóriu, spolupôsobí tu negatívna

spätná väzba, ktorá má za následok zoslabenie (utlmenie) a napokon likvidáciu odchýlok od tejto trajektórie.

Mohlo by sa zdať, že disipatívne štruktúry sa objavujú až na biologickej úrovni, ale objaviteľ disipatívnych štruktúr I. Prigogine<sup>1</sup> ukázal, že sa objavujú už na fyzikálno-chemickej úrovni. Vo fyzikálno-chemickom systéme, zloženom z veľkého množstva častíc, ktorý je vystavený do situácie ďaleko od termodynamickej rovnováhy, sa jeho častice v istom okamihu prestávajú správať rýdzo individuálne, t. j. na sebe úplne nezávisle, ale začínajú sa správať kolektívne, na seba závisle a začínajú vytvárať makroskopicky organizované priestorové alebo časové, resp. časopriestorové štruktúry; ide práve o disipatívne štruktúry. Táto skutočnosť dokladá priamo na fyzikálno-chemickej úrovni dve základné veci, a to, že celok, resp. systém (nelinárny) je viac než suma jeho častí a že takéto celostné správanie vedie k spontánnemu vzniku organizovaných štruktúr. Nové štruktúry sa tu akoby zrazu „vynoria“. To je tzv. emergencia, o ktorej sa často hovorí v spojitosti s rozvojom nelineárnych systémov<sup>2</sup>.

Keďže ale organizované štruktúry vznikajú spontánne, t. j. bez zásahu zvonka, hovorí sa v tejto súvislosti o samoorganizácii. Samoorganizácia je teda koncept, ktorý má svoje termodynamické zakorenenie. Ale samoorganizácia znamená zároveň narastanie komplexity. Komplexita a samoorganizácia sú vzájomne komplementárne pojmy; sú to akési dve stránky jednej a tej istej mince. Rozvoj sveta vedie k narastaniu komplexity, čo však vôbec neznamená stieranie rozdielov, likvidáciu diverzity, špecializácie; všetky tieto atribúty zostávajú zachované. Pod narastaním komplexity treba rozumieť narastanie vnútornej komplexity, organizácie, narastanie komplexného správania.

Pre úplnosť poznamenajme, že vo vede vznikli dve koncepcie samoorganizácie, a to už spomenutá Prigoginova koncepcia disipatívnych štruktúr a koncepcia nemeckého fyzika H. Hakena, známa ako synergetika (Haken 1983). Medzi oboma koncepciami však neexistuje zásadný rozdiel. Kým Prigoginova koncepcia pripisuje významnejšiu úlohu náhodným fluktuáciám, vzniku poriadku z chaosu, resp. vzniku poriadku prostredníctvom náhodných fluktuácií, tak Hakenova synergetika chápe vznik poriadku skôr ako dôsledok nelineárnych interakcií systémových zložiek, resp. prvkov (Buenstorf 2000).

Štúdium nelineárnych dynamických systémov, štúdium komplexity sa toho času stalo širokým vedeckým poľom. Jednou z ďalších koncepcií, ktorá sa v tejto súvislosti rozvíja už dlhšiu dobu a ktorú tu spomenieme iba stručne, je koncepcia chaosu. Poznamenajme ale, že tu ide o špeciálny prípad chaosu, tzv. deterministický chaos. Deterministický chaos je jav, ktorý sa objavil v súvislosti s riešením niektorých diferenciálnych rovníc, opisujúcich niektoré javy v prírode či spoločnosti. Rozhodujúcu úlohu tu zohrávajú hodnoty ich parametrov; pri nízkych hodnotách parametrov dávalo riešenie týchto rovníc tzv. normálne správanie, avšak pri vysokých hodnotách to už bolo veľmi komplikované správanie, „čudné“, „chaotické“. Keďže ale tento druh chaosu je vyvolaný iba parametrami samotných diferenciálnych rovníc a žiadnymi inými faktormi, hovorí

<sup>1</sup> Ilya Prigogine je belgický vedec ruského pôvodu. Za rozpracovanie problémov nerovnovážnej termodynamiky a objav disipatívnych štruktúr mu bola udelená Nobelova cena.

<sup>2</sup> Tieto zistenia môžu byť metodologicky významné aj pre samotnú geografiu, ktorá síce často deklaruje význam celku, jeho kvalitatívnu odlišnosť od častí, ale toto tvrdenie zostáva u nej viac-menej iba na verbálnej úrovni.

sa o deterministickom chaose. Tento druh chaosu však v skutočnosti predstavuje určitý špecifický druh usporiadania; niektoré nelineárne systémy vykazujú práve takýto druh usporiadania. Aj pri týchto systémoch je ich správanie ťažko predvídateľné, hoci sa dajú deterministicky opísať (Jarsulic 1998).

## NÁČRT APLIKÁCIE

Hoci koncepcia komplexity v podobe koncepcie samoorganizácie nenašla doteraz v našej geografii odozvu (aspoň nie známu autorovi tohto príspevku), existuje vo svetovej geografii už bohatá literatúra, v ktorej sa tento problém intenzívne študuje. Priekopníkom v tejto oblasti sa stal P. M. Allen, bývalý spolupracovník samotného I. Prigogina. Z celého radu jeho štúdií (niektoré napísané v spoluautorstve) vyberáme príklad z jednej, v ktorej je myšlienka samoorganizácie aplikovaná na vývoj sídelného systému (Allen 1982). Sídelný systém, pochopiteľne „zaplnený“ obyvateľstvom, je systém otvorený, ktorý je ďaleko od stavu termodynamickej rovnováhy, pretože k svojej existencii, k svojmu fungovaniu potrebuje množstvo energetických a materiálových vstupov. Jednotlivé sídla tohto systému však nefungujú izolovane, nezávisle na sebe, ale rozmanitým spôsobom interagujú. Interakcia a stav ďaleko od termodynamickej rovnováhy má za následok, že tu spontánne vzniká určité priestorové usporiadanie, disipatívna štruktúra, ktorá však nie je statická, ale podlieha zmenám, vývoju. V tomto vývoji zohrávajú bezpochyby významnú úlohu náhody (náhodné fluktuácie) a samozrejme nelinearity. Stačí napr. určitý impulz, ktorý môže byť čisto náhodný, napr. v podobe lokácie istej aktivity v nejakom sídle, ktorý prostredníctvom nelineárnych vzťahov, prostredníctvom pozitívnej spätnej väzby vedie k zosilneniu ďalšieho vývoja, k „nabalovaniu“ ďalších aktivít, takže sa dané sídlo v porovnaní s inými môže výrazne rozvinúť. V tomto vývoji sa však môžu objaviť náhle zvrátové body – bifurkácie – ktoré môžu zmeniť ďalšiu vývojovú trajektóriu sídla, resp. celého sídelného systému. Je ale zrejme, že pri týchto všetkých premenách zohráva dôležitú úlohu predchádzajúci vývoj, predchádzajúca história. Možno povedať, že geografii je to všetko známe, ale pravdepodobne menej známe je, že to všetko je v súlade s koncepciou či teóriou disipatívnych štruktúr.

Aby bolo možné túto teóriu využiť efektívne, je potrebné matematicky formalizovať príslušné vzťahy pre daný sídelný systém. To urobil P. M. Allen, ktorý sformuloval príslušné nelineárne diferenciálne rovnice, stanovil hodnoty parametrov rovníc a pri zavedení 5 % fluktuácie simuloval vývoj sledovaného sídelného systému. Poznamenajme, že vo východiskovom stave bol sídelný systém zložený zo sídiel s rovnakým počtom obyvateľov, pričom sídla boli rozložené na vrcholoch rovnostranných trojuholníkov, t. j. úplne rovnomerne. Simulácia ukázala, že systém sa postupne začína diferencovať – niektoré sídla rastú rýchlejšie než iné a stávajú sa akýmiisi jadrami celého systému. Rozloženie jadier však už prestáva vykazovať pravidelnosť (rovnomernosť). Takto sa postupne vytvorí celá hierarchická štruktúra sídel, ktorá v určitom okamihu začne vykazovať istú stacionaritu. Z technických dôvodov odkazujeme čitateľa na obrázky, ktoré možno nájsť v štúdiách P. M. Allena, resp. jeho spoluautorov (1982, 1979 a 1981), uvedené v zozname literatúry. Poznamenajme, že takáto koncepcia zavádza zrejmu flexibilitu do tvorby hierarchického systému sídel tak, ako je to prezentované v Christallerovej, resp. Lösschovej teórii, kde sa sídla vyššie-

ho hierarchického rádu objavia deterministicky v určitej pevne stanovenej geometrickej schéme. Tento stav je vždy rovnaký a nijaká náhodná fluktuácia, nijaká nelinearita ho v týchto teóriách nemôže zmeniť. Hoci tieto teórie stále zohrávajú mimoriadnu úlohu v chápaní sídelného systému, teória disipatívnych štruktúr umožňujú do nich vložiť dynamiku a flexibilitu.

## ZÁVER

Komplexita je jedným z najvýznamnejších atribútov nášho sveta. Je však paradoxné, že táto základná skutočnosť bola v samotnej vede dosť dlho prehliadaná a nedoceňovaná. Až v posledných 20-30 rokoch začína táto skutočnosť získavať význam, a to stále intenzívnejšie. Jej relevanciu si veda začína uvedomovať stále hlbšie a hlbšie. Zlom, ktorý sa udial asi pred 30 rokmi a ktorý nastolil problém komplexity sveta v novom svetle, bol objav disipatívnych štruktúr. Takéto štruktúry však môžu vzniknúť iba v systémoch nachádzajúcich sa ďaleko od stavu termodynamickej rovnováhy, v ktorých prevládajú nelineárne vzťahy, interakcie. Práve tieto systémy sú kľúčom k vzniku nových štruktúr, kľúčom k vývoju. Keďže ale nové štruktúry vznikajú spontánne, možno hovoriť o samoorganizácii. Samoorganizácia a komplexita sú však navzájom komplementárne. Niektorí bádatelia zastávajú názor, že adekvátne zvládnutie komplexity a samoorganizácie vyžaduje rozvoj nových disciplín, hlavne matematických; také disciplíny ako je napr. teória katastrof, fraktálna geometria a niektoré ďalšie už naznačujú ďalší vývoj. Iní zdôrazňujú v tejto súvislosti význam simuláčnych postupov vzhľadom na to, že nelineárne diferenciálne rovnice, opisujúce samoorganizačný proces, sú ťažko riešiteľné analyticky.

Geografia bezpochyby môže významne čerpať z tohto bádateľského prúdu už len preto, že prevažná časť zemských systémov, ktoré študuje táto disciplína, má povahu komplexných samoorganizujúcich sa systémov. Ako najtypickejší príklad možno uviesť sídla a regióny. Niet ale pochýb, že bádateľský potenciál tohto nového prúdu je pre geografiu zďaleka bohatší.

## LITERATÚRA

- ALLEN, P. M. (1982). Self-organisation in the urban system. In Shieve, W. C. and Allen, M., eds. *Self-organisation and dissipative structures*. Austin (University of Texas Press), pp. 132-158.
- ALLEN, P. M. and SANGLIER, M. (1979). Dynamic model of growth in central place system. *Geographical Analysis*, 11, 138-272.
- ALLEN, P. M. and SANGLIER, M. (1981). Urban evolution, self-organisation and decision making. *Environment and Planning A*, 13, 167-183.
- BUENSTORF, G. (2000). Self-organisation and sustainability: energetic of evolution and implications for ecological economics. *Ecological Economics*, 33, 119-134.
- BYRNE, D. (1998). *Complexity theory and the social sciences*. London (Routledge).
- HAKEN, H. (1983). *Synergetics: an introduction*. Berlin (Springer).
- HAMPL, M. (1971). *Teorie komplexity a diferenciace světa*. Praha (Univerzita Karlova).
- HAMPL, M. (1998). *Realita, společnost a geografická organizace: hledání integrálního řádu*. Praha (Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy).
- JARSULIC, M. (1998). Chaos in economics. In *The handbook of economic methodology*. Cheltenham (Edgar Elgar), pp. 59-63.
- NICOLIS, G., PRIGOGINE, I. (1987). *Die Erforschung des Komplexen*. München (Piper).